

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И АГРОБИЗНЕСА

Кафедра агрохимии, почвоведения и экологии

ЧЕСАЛИН С.Ф.
СМОЛЬСКИЙ Е.В.

СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Учебно-методическое пособие
для лабораторно-практических занятий студентов,
обучающихся по направлению подготовки
35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение

Брянская область
2020

УДК 631.8:712 (076)

ББК 35.32:26.82

Ч 51

Чесалин, С. Ф. **Системы удобрения в агроландшафтах: учебно-методическое пособие для лабораторно-практических занятий студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение / С. Ф. Чесалин, Е. В. Смольский.** – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. – 84 с.

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Системы удобрения в агроландшафтах» и отвечает требованиям Федерального государственного образовательного стандарта РФ. Издание предназначено для студентов сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение, также оно будет полезно специалистам, работающим в сельскохозяйственной сфере.

Целью учебно-методического пособия является совершенствование знаний по эффективному применению удобрений на основе: правильного выбора ландшафта, умения выбрать почву и подобрать сельскохозяйственные культуры, с учетом сроков и способов внесения агрохимических средств для получения большего количества продукции с хорошим качеством. Пособие реализует компетенции для направления подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение ПК-3: способностью самостоятельно выполнять научные исследования с использованием современных методов и технологий и ПК-6: готовностью применять разнообразные методологические подходы к проектированию агротехнологий и моделированию агроэкосистем, оптимизации почвенных условий, систем применения удобрений для различных сельскохозяйственных культур.

Рецензент: В.М. Никифоров – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства Брянского государственного аграрного университета.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссии института экономики и агробизнеса Брянского государственного аграрного университета от 19 февраля 2020 года, протокол № 2.

© Брянский ГАУ, 2020

© Чесалин С.Ф., 2020

© Смольский Е.В., 2020

Введение

Цель выполнения лабораторно-практических работ – овладеть методикой разработки системы удобрения в производственных условиях. Для этого необходимо знать почвенные условия, особенности питания сельскохозяйственных растений, свойства и содержание действующего вещества в удобрениях, основные машины и орудия, применяемые при подготовке и внесении их в почву. Все основные итоговые показатели системы должны быть научно обоснованы и привязаны к конкретным почвенно-климатическим условиям хозяйства. При этом обязательно учитывают производственные и финансовые возможности предприятия.

При оформлении работ по системе удобрения за исходный уровень урожайности сельскохозяйственных культур можно взять плановые показатели на ближайшие 5 лет. Студент должен иметь данные по плодородию того или иного поля, участка, т.е. знать возможный уровень продуктивности без применения удобрения. При сочетании наиболее высоких показателей плодородия, обеспеченности хозяйства удобрениями, средствами механизации и защиты растений, при наличии сортов интенсивного типа можно получить наивысшую урожайность. При этом нужно учитывать приблизительную оплату 1 кг питательных веществ минеральных удобрений и 1 т органических удобрений получаемой продукцией.

При выборе метода расчета доз удобрений следует с помощью преподавателя выбрать наиболее приемлемый вариант, который более всего отвечал бы условиям, складывающимся в хозяйстве.

Под *системой удобрения* понимают комплекс агротехнических и организационных мероприятий, связанный с применением удобрений и направленный на увеличение урожайности возделываемых культур и повышение плодородия почв.

Различают систему удобрения в хозяйстве, севообороте или другом каком-либо объекте (в защищенном грунте, многолетних насаждениях, на лугах и пастбищах) и систему удобрения отдельных культур.

Система удобрения в хозяйстве. Включает четыре основных звена: накопление, приобретение, хранение и учет удобрений; рациональное распределение удобрений по объектам использования; подготовку, транспортировку и внесение удобрений; контроль за действием удобрений и учет их агрономической и экономической эффективности.

Система удобрения в севообороте. Это многолетний план применения удобрений с учетом плодородия почвы, биологических особенностей растений, состава и свойств удобрений. В отличие от системы удобрения для хозяйства данная система включает распределение удобрений между культурами, определение доз, сроков и способов внесения. Количественной характеристикой системы удобрения в севообороте является приходящаяся на 1 га пашни средняя масса удобрений, вносимых за ротацию. Этот показатель называют насыщенностью севооборота удобрениями.

Система удобрения отдельных сельскохозяйственных культур. Включает определение потребности той или иной культуры в органических и минеральных удобрениях, определение срока и способа внесения, установление оплаты удобрения прибавкой урожая.

Благодаря правильной системе удобрения можно решать следующие задачи:

– систематически получать плановую урожайность при хорошем качестве продукции всех сельскохозяйственных культур севооборота и хозяйства в конкретных природно-экономических условиях;

– определять потребность в химических мелиорациях, органических, минеральных и других видах удобрений на перспективу для хозяйства, района, области, республики или крупного экономического региона страны;

- производительно и эффективно использовать средства механизации по подготовке и внесению удобрений;
- систематически улучшать эффективное плодородие почвы;
- для уменьшения поступления удобрений в водоемы и воздух планировать меньшие дозы удобрений, определять лучшие сроки их внесения; в конкретных случаях большие дозы удобрений необходимо вносить в несколько приемов;
- улучшить организацию и управление сельскохозяйственным производством.

Непосредственную разработку системы удобрения целесообразно осуществлять в такой последовательности:

1. Составление плана известкования кислых почв.
2. Разработка плана накопления и размещения органических удобрений.
3. Разработка многолетнего плана применения удобрений, куда должны войти определение потребности в удобрениях для севооборота; выявление наиболее рациональных способов и приемов внесения удобрений в почву; разработка годовых планов применения удобрений в хозяйстве и др.
4. Составление баланса питательных веществ.
5. Определение экономической эффективности разработанных систем удобрения.
6. Определение потребности в рабочей силе, тракторах, автомобилях, машинах по смешиванию и разбрасыванию удобрений для выполнения годового плана применения удобрений.

1. Известкование кислых почв

В нашей стране свыше 60 млн га почв, нуждаются в известковании. С интенсификацией земледелия значимость известкования как средства коренного улучшения кислых почв еще более возрастает. Это связано с увеличивающимся отчуждением из них кальция и магния за счет выноса сельскохозяйственными культурами, с вымыванием атмосферными осадками, применением значительных количеств физиологически кислых минеральных удобрений.

При разработке систем удобрения для почв с кислой реакцией, обязательным является составление плана известкования. В этом плане должны быть намечены следующие основные мероприятия:

- установление необходимости известкования почв;
- определение дозы чистого CaCO_3 ;
- определение очередности известкования почв, относящихся к разным севооборотам;
- корректирование дозы чистого CaCO_3 в зависимости от набора культур севооборота, степени увлажнения и т. д.;
- определение дозы известкового удобрения;
- составление плана известкования почв в севооборотах с учетом культур и агротехники;
- определение технологических схем известкования;
- определение экономической эффективности известкования.

1.1. Установление необходимости известкования почв

Для определения необходимости известкования в настоящее время используют в основном агрохимические методы. Так, почвы с содержанием гумуса менее 5 % по степени нуждаемости в известковании подразделяют следующим образом:

pH_{KCl}	Потребность почв в известковании
4,5	сильная
4,6-5,0	средняя
5,1-5,5	слабая
более 5,5	отсутствует

Величина рН солевой вытяжки характеризует фактическую нуждаемость в известковании весьма приблизительно, так как в зависимости от содержания в почве органического вещества, подвижных форм Al, Mn, обеспеченности элементами питания, соотношения между ионами водорода и оснований, гранулометрического состава вредное действие кислотной реакции на растения проявляется в разной мере.

Учесть все взаимосвязанные факторы для определения нуждаемости почв в известковании невозможно, поэтому ограничимся наиболее важными. Нуждаемость почв в известковании определяют по данным величины рН, гранулометрического состава почв и степени насыщенности основаниями (табл. 1).

Таблица 1 - Нуждаемость почв в известковании в зависимости от их гранулометрического состава, величины рН и степени насыщенности основаниями

Гранулометрический состав почвы	Потребность в известковании							
	сильная		средняя		слабая		отсутствует	
	рН _{KCl}	%	рН _{KCl}	%	рН _{KCl}	%	рН _{KCl}	%
Тяжело- и средне-суглинистая	<5,0	<45	5,0-5,5	45-60	5,5-5,0	60-70	>6,0	>70
	<4,5	<50	4,5-5,0	50-65	4,5-5,0	65-75	>5,5	>75
	<4,0	<55	4,0-4,5	55-70	4,0-4,5	70-80	>5,0	>80
Легкосуглинистая	<5,0	<35	5,0-5,5	35-55	5,5-6,0	55-65	>6,0	>65
	<4,5	<40	4,5-5,0	40-60	5,0-5,5	60-70	>5,5	>70
	<4,0	<45	4,0-4,5	45-55	4,5-5,0	65-75	>5,0	>75
Супесчаная и песчаная	<5,0	<30	5,0-5,5	30-45	5,5-6,5	45-55	>6,0	>55
	<4,5	<35	4,5-5,0	35-50	5,0-5,5	50-60	>5,5	>60
	<4,0	<40	4,0-4,5	40-55	4,5-5,0	55-65	>5,0	>65
Заболоченная торфянистая и торфяно-болотная	<3,5	<35	3,5-4,2	35-55	4,2-4,8	55-65	>4,8	>65

В последние годы работами А.Н. Небольсина и З.П. Небольсиной было показано, что на определение нуждаемости почв в известковании оказывают влияние содержание подвижных соединений фосфора, гумуса и степень увлажнения в дерново-подзолистых почвах. В таблице 2 на основании обобщения большого числа полевых опытов показаны

уровни реакции почв, при которых известкование нужно проводить в первую очередь.

Таблица 2 - Уровни реакции (pH_{KCl}) дерново-подзолистых почв в разных севооборотах, при которых необходимо первоочередное известкование (Небольсин, Небольсина, 1997)

Почва	Содержание гумуса, %	Полевой севооборот со льном, картофелем, люпином			Полевой севооборот с картофелем, бобово-злаковыми травами			Овощной, овощекормовой севооборота с культурами, чувствительными к кислотности		
		Содержание подвижных соединений P_2O_5 мг/100 г почвы (по Кирсанову)								
		15-25	10-15	<10	15-25	10-15	<10	15-25	10-15	<10
<i>Почвы нормального увлажнения</i>										
Песчаная, супесчаная	<1	4,6	4,8	5,0	4,8	5,0	5,2	Не возделывают		
	1-2	4,2	4,4	4,6	4,4	4,6	5,0	4,8	5,0	5,2
	2-3	4,1	4,3	4,5	4,3	4,5	4,7	4,6	4,8	5,0
	>3	4,0	4,2	4,4	4,2	4,4	4,6	4,4	4,6	4,8
Легко-, среднесуглинистая	1-2	4,9	5,1	5,2	5,0	5,2	5,4	5,4	5,6	5,8
	2-3	4,5	4,7	4,9	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,6
	3-4	4,3	4,5	4,7	4,6	4,8	5,0	5,0	5,2	5,4
	>4	4,2	4,4	4,6	4,4	4,6	4,8	4,6	4,8	5,0
Тяжелосуглинистая	2-3	4,9	5,1	5,3	5,4	5,6	5,8	5,8	6,0	6,2
	2-4	4,7	4,9	5,1	5,2	5,4	5,6	5,6	5,8	6,0
	4-5	4,5	4,7	4,9	5,0	5,2	5,4	5,4	5,6	5,8
	>5	4,3	4,5	4,7	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,6
<i>Почвы избыточного увлажнения</i>										
Песчаная, супесчаная	1-2	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,6	Не возделывают		
	2-3	4,6	4,8	5,0	5,0	5,2	5,4	5,2	5,4	5,6
	3-4	4,4	4,6	4,8	4,8	5,0	5,2	5,0	5,2	5,4
	>4	4,2	4,4	4,6	4,6	4,8	5,0	4,8	5,0	5,2
Легко-, среднесуглинистая	2-3	5,0	5,2	5,4	5,4	5,6	5,8	5,6	5,8	6,0
	3-4	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,6	5,4	5,6	5,8
	4-5	4,6	4,8	5,0	5,0	5,2	5,4	5,2	5,4	5,6
	>5	4,4	4,6	4,8	4,8	5,0	5,2	5,0	5,2	5,4
Тяжелосуглинистая	2-3	5,2	5,4	5,6	5,6	5,8	6,0	6,0	6,2	6,2
	3-4	5,0	5,2	5,4	5,4	5,6	5,8	5,8	6,0	6,2
	4-5	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,6	5,6	5,8	6,0
	5-6	4,6	4,8	5,0	5,0	5,2	5,4	5,4	5,6	5,8
>6	4,4	4,6	4,8	4,8	5,0	5,2	5,2	5,4	5,6	

Действие извести продолжается в течение многих лет, поэтому при проведении известкования необходимо учитывать требования культур севооборота к уровню реакции почвы и создавать оптимальные условия для наиболее ценных в хозяйственном отношении.

На основании обобщения экспериментальных данных почвы подзолистого типа необходимо известковать до следующих уровней pH_{KCl} (Небольсин, 1997):

– песчаные и супесчаные до pH_{KCl} 5,0-5,5, суглинистые – до 5,3-5,8, тяжелосуглинистые и глинистые – до 5,5-6,0 в полевых севооборотах со льном, люпином и картофелем, а также на лугах и пастбищах со злаковым травостоем;

– песчаные и супесчаные до pH_{KCl} 5,2-5,8, суглинистые – до 5,5-6,0, тяжелосуглинистые и глинистые – до 5,3-6,5 в полевых севооборотах с картофелем и бобово-злаковыми многолетними травами;

– песчаные и супесчаные до pH_{KCl} 5,5-6,0, суглинистые – до 6,0-6,5, тяжелосуглинистые и глинистые – до 6,5-7,0 в овощных и овощекормовых севооборотах с культурами, особенно чувствительными к кислотности.

Эти данные необходимо использовать для определения очередности известкования, которую устанавливают чаще всего из-за нехватки извести, средств механизации и других условий, когда невозможно известковать все нуждающиеся почвы (табл. 3).

Таблица 3 - Очередность известкования в различных типах севооборотов при разной кислотности почвы

Севооборот	Очередность известкования при потребности почв в извести			
	сильной ($pH < 4,5$)	средней ($pH 4,6-5,0$)	слабой ($pH 5,1-5,5$)	отсутствующей ($pH > 5,5$)
Полевой с малым удельным весом картофеля (1 поле)	I	II	III	Не известкуют
Полевой с большим удельным весом картофеля (2-3 поля)	I	II	Не известкуют	Не известкуют
Кормовой (прифермский)	I	I	I	Проводят поддерживающее известкование
Овощной и овощекормовой	I	I	I	Проводят поддерживающее известкование
Культурные пастбища		I	II	Не известкуют

Определение дозы CaCO₃. Для определения доз извести используют различные методы. Широко распространено определение доз извести по рН солевой вытяжки и гранулометрическому составу почв. Основным условием этого метода является связь буферности почв (сопротивляемость сдвигу реакции среды) с гранулометрическим составом, главным образом с содержанием глинистых частиц. Всероссийским НИИ удобрений и агропочвоведения и Северо-Западным НИИ сельского хозяйства разработаны примерные дозы извести для дерново-подзолистых и серых лесных почв, содержащих 2-3 % гумуса (табл. 4).

Таблица 4 - Дозы CaCO₃ для дерново-подзолистых и серых лесных почв с содержанием гумуса не более 3% (для центральных и северо-восточных областей Нечерноземной зоны), т/га

Почва	рН _{KCl}								
	3,8-3,9	4,0-4,1	4,2-4,3	4,4-4,5	4,6-4,7	4,8-4,9	5,0-5,1	5,2-5,3	5,4-5,5
Песчаная	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	–
Супесчаная	7,0	5,5	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	–
Легкосуглинистая	8,0	6,5	5,5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5
Среднесуглинистая	9,0	8,0	6,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
Тяжелосуглинистая	10,5	9,5	7,5	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0
Глинистая	14,5	10,5	9,0	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5

Определение дозы CaCO₃ по гидролитической кислотности. Дозу CaCO₃ на 1 га рассчитывают по формуле:

$$D = Hг \times 500 \times 3\,000\,000 / 1\,000\,000\,000,$$

где D – доза CaCO₃, т/га; Hг – гидролитическая кислотность, ммоль (мг-экв/100 г почвы); 500 – количество CaCO₃, необходимое для нейтрализации 1 ммоль (мг-экв) Hг в 1 кг почвы, мг; 3 000 000 – масса почвы пахотного слоя на 1 га (при условии плотности сложения 1,5 г/см³ и мощности пахотного слоя 20 см), кг; 1 000 000 000 – коэффициент для перевода мг CaCO₃ в тонны.

Определение доз извести по гидролитической кислотности более точное, чем по величине рН и гранулометрическому составу. Но этот метод имеет недостатки. Во-первых, при определении гидролитической кислотности не все ионы H^+ вытесняются $CaCO_3$; использование усредненного коэффициента 1,75 на неполноту вытеснения не всегда оправдано. Во-вторых, проверка доз извести, определенных по гидролитической кислотности, показала, что на легких почвах достигается реакция несколько выше оптимальной, а на тяжелосуглинистых – ниже.

Дозы $CaCO_3$ необходимо уточнять в зависимости от типа севооборота.

<i>Севооборот</i>	<i>Доля извести от полной дозы</i>
Полевой с многолетними травами	1 – при малых площадях картофеля (10-15 %); 3/4 – при больших площадях.
Кормовой с корнеплодами	1,2 – при внесении борных удобрений.
Льняной	1 – на связных, буферных, средне- и тяжелосуглинистых почвах; 1/2 – на песчаных и супесчаных.
Картофельный	1/2 – на легких окультуренных почвах; 3/4 – на более тяжелых окультуренных почвах.
Овощной	1 или 1,25-1,30
С сахарной свеклой	1
Луга и пастбища (природные)	1
Вновь создаваемые луга и пастбища	1
Сады	
семечковые	1/2
косточковые	1
Ягодные культуры	
смородина, земляника	1
малина	3/4
крыжовник	1/2

Например, для одного из полей льняного севооборота рассчитана доза $CaCO_3$ 5 т/га, на песчаных и супесчаных почвах она будет равна 2,5 т/га и т.д.

Определение доз известковых удобрений. Все известковые удобрения делят на несколько групп: известковые удобрения промышленного производства (известковая и доломитовая мука); переработанные известковые туфы, гажа и

отходы промышленности (сланцевая зола, цементная пыль, металлургические шлаки и др.). Содержание карбонатов и тонина помола должны соответствовать требованиям ГОСТов и технических условий (ТУ).

Известковые удобрения содержат определенное количество примесей, влаги и частиц крупнее 1 мм. Чтобы более точно определить дозу того или иного известкового удобрения, вносят поправки на содержание в нем CaCO_3 , а также на влажность, примеси и частицы крупнее 1 мм.

Количество известкового удобрения, которое нужно внести с учетом влажности, примесей и содержания крупных частиц, т/га

$$D = N_g \times 100 \times 100 \times 100 / [(100 - v)(100 - K) \times P],$$

где N_g – доза CaCO_3 , которую определяют по гидролитической кислотности или таблицам, откорректированная в зависимости от севооборота, т/га; v – влажность удобрения, %; K – количество примесей и частиц крупнее 1 мм, %; P – нейтрализующая способность известкового удобрения в пересчете на CaCO_3 или содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, %.

Составление плана известкования почв в различных севооборотах. При составлении плана учитывают степень нуждаемости почв в известковании и очередность. Важным условием составления плана является проведение известкования на всех полях в течение 3-5 лет, как это делают, например, в ФРГ. Ниже указаны места внесения извести в севооборотах.

<i>Севообороты</i>	<i>Место внесения извести</i>
Зерновые с клевером	В пару под озимые, яровые, особенно с подсевом трав
Кормовые	То же, кроме того, под кормовые корнеплоды
Льняные	Под покровные клеверу культуры или в пару
Картофельные	Непосредственно под картофель, перед вспашкой поля, можно поверхностно по всходам или после картофеля
Овощные (при малой насыщенности картофелем)	Под капусту и свеклу или их предшественники, в пару, под картофель или по его всходам
Севообороты с сахарной свеклой	В пару, под свеклу, в севооборотах с травосеянием под покровную многолетним травам культуру
Луга и пастбища	При коренном улучшении под вспашку или культивацию, хуже – поверхностно с заделкой боронованием поздней осенью или ранней весной

Целесообразно проводить известкование в течение всего года. Зимой его следует планировать на полях, где затруднено внесение удобрений в другие периоды, на переувлажненных почвах, на отдаленных полях с плохими подъездными путями. Но при этом необходимо соблюдать ряд условий:

- 1) для известкования выбирать поля с ровным рельефом;
- 2) глубина снежного покрова не должна превышать 20 см;
- 3) нельзя вносить известковые удобрения по озимым из-за возможного вымерзания их в колеях прохода агрегатов;
- 4) при внесении удобрений машинами, имеющими центробежные высевающие аппараты, последние должны быть отрегулированы на высоту не менее 20 см от верхней отметки снежного покрова;
- 5) нельзя вносить цементную пыль и удобрения, содержащие соединения типа CaO ;
- 6) нельзя вносить известковые удобрения на поля при скорости ветра 5-6 м/с;
- 7) зимой не рекомендуют разбрасывать удобрения с содержанием влаги более 8 %, так как они смерзаются и неравномерно распределяются по поверхности;
- 8) для предотвращения сноса ветром известковые удобрения необходимо заделывать шлейфом или легкой бороной на глубину 5-7 см.

При составлении плана известкования нужно принимать во внимание особенности действия известковых удобрений на отдельные культуры, а также учитывать технологию возделывания культур в севообороте.

При известковании кислых почв легкого гранулометрического состава в севооборотах с люпином лучше применять магнийсодержащие известковые материалы, известь вносить в половинной дозе, добиваясь равномерного ее рассеивания. На более связных почвах дозу извести можно увеличить и вносить ее непосредственно под люпин. После известкования рекомендуют применять удобрения, содержащие бор (борный суперфосфат и бормагниевого удобрения).

На естественных лугах и пастбищах на кислых почвах известкование проводят поверхностно, лучше после укоса или осенью, полной дозой по гидролитической кислотности. Чтобы не портить дернину, известковые удобрения не заделывают. На лугах с разреженным травостоем, после удаления кустарника на вырубках, на выбитых пастбищах известь вносят одновременно с подсевом трав; удобрения и семена трав при разбросном посеве заделывают бородами и прикатывают. Известь можно вносить перед дискованием, а сеять травы после него.

При создании долголетних культурных пастбищ и сенокосов известковые удобрения можно вносить под предварительные культуры, если они возделываются в первые 2 года освоения. При ускоренном залужении выродившихся лугов (без посева однолетних предшествующих культур) известковые удобрения вносят после подъема пласта перед дискованием, чтобы снизить кислотность поверхностного слоя. Если перед посевом трав известкование не проведено, то на средне- и слабокислых почвах нужно обязательно внести известковые удобрения поверхностно.

При известковании почв в овощных севооборотах известь можно вносить под любую культуру. При этом для более быстрого и сильного действия ее следует заделывать послойно: $3/4 - 2/3$ дозы осенью под зяблевую вспашку и $1/4 - 1/3$ – под ранне-весеннюю культивацию. Под капусту известь можно вносить локально в лунки.

При известковании почв в садах необходимо всегда учитывать тип плодового насаждения. Известковые удобрения лучше всего вносить при закладке садов, ягодников, виноградников прежде всего под плантажную вспашку совместно с органическими и минеральными удобрениями, а в дальнейшем – периодически через каждые 8-10 лет. Если почву не известковали или вносили недостаточное количество извести, то ее можно внести в посадочные ямы с почвой: под вишню – 3-5 кг, яблоню и грушу – 2-3 кг, крыжов-

ник – 0,1-0,2 кг.

Баланс кальция и магния и определение сроков повторного известкования. Составление баланса Ca и Mg при разработке плана известкования почв необходимо для определения ориентировочного срока действия извести и даты очередного известкования. С этой целью устанавливают приходные и расходные статьи баланса. Приходными статьями является поступление Ca и Mg с известковыми, органическими и минеральными удобрениями; расходными – вынос этих элементов с хозяйственным урожаем культур (ожидаемый урожай с пашни), выщелачиванием с инфильтрационными водами (расчетные величины, базирующиеся на лизиметрических исследованиях); расход кальция и магния на нейтрализацию физиологически кислых минеральных удобрений (расчет по проектируемому количеству вносимых минеральных удобрений).

Усредненные данные о поступлении кальция и магния в почву приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Поступление кальция и магния с удобрениями и известковыми материалами

Удобрение	CaO	MgO
<i>На 100 кг физической массы, кг</i>		
Простой порошковидный и гранулированный суперфосфат	30	–
Двойной гранулированный суперфосфат	22	–
Калимагнезия	–	13
Каинит	–	16
<i>На 100 кг действующего вещества, кг (CaCO₃)</i>		
Молотый известняк	56	–
Молотый доломит	30	20
Молотый доломитизированный известняк	50	5
Мел	56	–
Гашеная известь	56	–
Доломитовая мука	50	20
Дефекат	56	–
Цементная пыль	52	2
Сланцевая зола	46	8

Согласно химическим анализам, с 1 т органических удобрений в почву поступает в среднем 6 кг/га CaO, 2 кг/га MgO; с осадками за 1 год – 7 кг/га CaO и 0,7 кг MgO.

Определенное количество кальция и магния выносятся урожаем сельскохозяйственных культур. Больше кальция и магния потребляют кормовые культуры – люцерна, клевер, овощные; меньше – картофель, лен (табл. 6).

Таблица 6 - Вынос кальция и магния с урожаем сельскохозяйственных культур, кг/т продукции

Культура	Продукция	CaCO ₃	MgCO ₃	Сумма карбонатов
Рожь озимая	Зерно + солома	8,8	6,0	14,8
Пшеница озимая	Зерно + солома	6,3	6,5	12,8
Пшеница яровая	Зерно + солома	5,6	7,8	13,4
Ячмень яровой	Зерно + солома	7,7	6,3	14,0
Овес	Зерно + Солома	9,7	7,2	16,9
Гречиха	Зерно + Солома	18,0	8,5	16,5
Горох	Зерно + Солома	31,5	10,0	41,5
Лен-долгунец	Семена + солома	17,1	16,4	33,5
Сахарная свекла	Корнеплоды	2,9	1,3	4,3
Картофель	Клубни	0,5	1,5	2,0
Кормовые корнеплоды	Корнеплоды	0,5	1,0	1,5
Кормовой люпин	Зеленая масса	2,9	1,5	4,4
Клевер луговой	Сено	42,2	19,0	61,2
Люцерна	Сено	45,5	7,8	53,3
Травы многолетние	Сено	27,0	12,5	39,5
Травы однолетние	Сено	30,0	10,6	40,6
Капуста	Кочаны	1,3	0,8	2,1
Луговые бобово-злаковые травы	Сено	17,1	10,2	27,3
Луговые злаковые травы	Сено	7,2	5,0	12,2

В почвах с промывным типом водного режима основная масса Ca и Mg теряется при вымывании с грунтовым и дренажным стоками (табл. 7, 8).

Таблица 7 - Потери кальция и магния из почвы

Место исследования	Почва	Вымыто из почвы, кг/га в год	
		CaCO ₃	MgCO ₃
Московская область	Дерново-подзолистая супесчаная	75-580	
Ленинградская область		580	67

Таблица 8 - Потери кальция и магния из почвы в зависимости от доз минеральных удобрений (по данным Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии)

Доза удобрений	Вынос, кг/га		Потери на 1 кг удобрений, кг	
	CaCO ₃	MgCO ₃	CaCO ₃	MgCO ₃
<i>Суглинистая почва</i>				
Контроль (без удобрений)	176	25,3	–	–
N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	449	65,4	0,89	0,12
N ₃₄₀ P ₃₄₀ K ₃₄₀	862	141,4	0,89	0,14
<i>Супесчаная почва</i>				
Контроль (без удобрений)	365	86,5	–	–
N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	831	207	1,60	0,40
N ₃₄₀ P ₃₄₀ K ₃₄₀	1808	300	1,78	0,29

Значительное количество Ca и Mg расходуется на нейтрализацию физиологически кислых минеральных удобрений. Количество CaCO₃, которое расходуется на нейтрализацию 1 т минеральных удобрений, принято считать следующим (данные ВИУА):

Удобрение	CaCO ₃ , т
Аммиачная селитра	0,75
Мочевина	0,80
Сульфат аммония	1,25
Хлористый аммоний	1,40
Безводный аммиак	1,50
Калийные удобрения	0,16
Суперфосфат	0,20
Аммиачная вода	0,50

Установив основные статьи прихода и расхода Ca + Mg, можно рассчитать баланс этих элементов в почвах. Данные расчета такого баланса приведены в таблице 9.

Как видно из данных таблицы 9, внесенные в почву кальций и магний с удобрениями и известковыми материалами обеспечивают в севообороте удовлетворительный баланс. Это означает, что в течение семи лет растения будут достаточно хорошо обеспечены Ca и Mg, в почвах будет поддерживаться оптимальная реакция.

На занятии надо рассчитывать баланс для каждого поля севооборота, так как по каждому полю дозы известковых удобрений значительно колеблются.

Таблица 9 - Примерный баланс кальция и магния в полевом севообороте на дерново-подзолистых супесчаных почвах

Культура севооборота	Удобрения	Урожайность, т/га	Приходные статьи баланса CaCO ₃ , кг/га					Расходные статьи баланса CaCO ₃ , кг/га				Баланс	
			Атмосферные осадки	Известковые удобрения	Суперфосфат	Органические удобрения	Всего	Вывнос растениями	Вывывание	Нейтрализация минеральных удобрений	Всего	±, кг	%
Ячмень	Известковая мука, 5 т; *N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	$\frac{3,5}{4,5}$	20	4250	132	-	4402	59	660	222	941	-346	468,0
Многолетние бобово-злаковые травы	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	5,0	20	-	44	-	64	239	540	172	951	-887	6,7
Многолетние бобово-злаковые травы	N ₇₀ P ₉₀ K ₁₂₀	5,0	20	-	44	-	64	238	560	180	978	-914	6,5
Лен-долгунец	N ₃₀ P ₈₀ K ₉₀	0,6	20	-	40	-	60	45	400	113	558	-498	12,0
Картофель ранний	Навоз, 60 т; N ₉₀ P ₈₀ K ₁₀₀	15,0	20	-	40	360	420	36	540	195	771	-351	54,5
Озимая рожь	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	$\frac{3,5}{7,0}$	20	-	44	-	64	63	600	202	865	-801	8,0
Картофель	Навоз, 80 т; N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀	25,0	20	-	40	480	540	60	640	235	935	-395	57,8
Итого			140	4250	384	840	5614	739	3940	1319	5998	-384	93,6

Примечание: используют удобрения: аммиачная селитра, двойной гранулированный суперфосфат, калий хлористый, в числителе указана урожайность зерна, в знаменателе – соломы.

Определение срока повторного известкования. Срок повторного известкования устанавливают по балансу или при определении рН_{KCl} через 3-4 года. Продолжительность действия извести (лет) по данным баланса можно рассчитать

по следующей формуле:

$$П = Д / (Н + 3 + В),$$

где Д – суммарный приход CaCO_3 за ротацию севооборота, кг/га; Н – среднегодовые потери CaCO_3 и MgCO_3 при выщелачивании из почвы, кг/га; 3 – годовые потери CaCO_3 и MgCO_3 на нейтрализацию физиологически кислых удобрений, кг/га; В – среднегодовой вынос CaCO_3 с урожаем, кг/га.

Пример. Если Д = 5614 кг/га; Н – 563 кг/га; 3 – 188 кг/га; В – 106 кг/га, то П = 5614 : (563 + 188 + 106) = 6,5 года.

Из этого примера следует, что повторное известкование необходимо провести после 6-летнего периода взаимодействия известкового удобрения с почвой.

Основные технологические схемы известкования почв. Основными машинами для внесения в почву слабопыляющих известковых удобрений являются 1-РМГ-4 и КСА-3. Технические характеристики этих машин приведены в соответствующих справочных пособиях. Пылевидные известковые материалы вносят машинами АРУП-8 и РУП-14.

В настоящее время применяют три основные схемы известкования: прямоточную, с перегрузкой удобрений, с перевалкой.

При работе по прямоточной схеме транспортировку и внесение известковых удобрений выполняют одним разбрасывателем – КСА-3 для слабопылящей извести или АРУП-8 для пылевидных удобрений.

При работе по схеме с перегрузкой предусматривают транспортировку пылевидных удобрений автоцементовозом или разбрасывателями АРУП-8, перегрузку их на поле в разбрасыватели и внесение в почву. Эту схему применяют тогда, когда невозможно использовать АРУП-8 непосредственно в поле из-за погодных, почвенных или дорожных условий.

Схема с перевалкой предусматривает перевозку удобрений различными транспортными средствами, выгрузку их в кучи вблизи полей, требующих известкования, погрузку в

разбрасыватели и внесение извести в почву. Такая технология применима только для внесения слабопылящих материалов.

Технологические схемы известкования кислых почв выбирают применительно к имеющимся машинам и условиям местности. Эксплуатационные затраты при этом будут различны. Использование 1-РМГ-4 при прямоточной схеме экологически выгодно при расстоянии до 3 км, КСА-3 – до 30 км, РУП-14 – до 15 км, а при тяжелых дорожных условиях в зимнее время это расстояние можно увеличить до 20 км.

При известковании летом при хороших дорожных условиях наиболее целесообразно использовать АРУП-8.

2. Определение потребности хозяйства в органических удобрениях

В настоящее время из органических удобрений в сельском хозяйстве используют навоз, навозную жижу, торф, фекалии, птичий помет, компосты, зеленое удобрение, различные хозяйственные отходы, городской мусор.

Такое разнообразие органических удобрений предопределяет значительные различия в их химическом составе (табл. 10).

Таблица 10 - Химический состав основных видов навоза, %

Навоз	Азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)	Кальций (CaO)	Магний (MgO)	Сера (SO ₃)	Вода	Органическое вещество
смешанный	0,50	0,25	0,60	0,35	0,15	0,10	75,0	21,0
крупного рогатого скота	0,45	0,23	0,50	0,40	0,11	0,06	77,3	20,3
конский	0,59	0,26	0,59	0,21	0,14	0,07	71,3	25,4
свиной	0,84	0,58	0,62	0,18	0,09	0,08	72,4	21,9
овечий	0,86	0,47	0,88	0,33	0,18	0,15	64,6	28,0

Продолжение таблицы 10

на торфяной подстилке								
крупного рогатого скота	0,60	0,22	0,48	0,45	–	–	77,5	–
конский	0,80	0,25	0,53	0,44	–	–	67,0	–
бесподстилочный:								
коров	0,25	0,09	0,35	0,18	0,05	–	93,7	4,3
быков на откорме	0,68	0,39	0,65	0,27	0,13	–	90,3	7,4
телят	0,50	0,27	0,30	0,42	0,15	–	89,9	7,4
свиноматок	0,43	0,22	0,20	0,28	0,07	–	95,0	3,8
свиноматок на откорме	0,57	0,27	0,44	0,28	0,08	–	91,4	6,4
птицы	1,35	1,23	0,53	1,29	0,18	–	82,2	13,2
жидкий при влажности 88-90 %								
крупного рогатого скота	0,36	0,18	0,36	–	–	–	–	–
свиней	0,46	0,23	0,20	–	–	–	–	–

Определение общей потребности хозяйства в органических удобрениях. Органические удобрения служат источником пополнения питательных веществ в почве. Они повышают эффективность минеральных удобрений, улучшают физические, физико-химические и биологические свойства почвы. При совместном применении органических и минеральных удобрений наблюдается повышение плодородия почвы и происходит неуклонный рост урожайности сельскохозяйственных культур.

Органические удобрения являются также источником пополнения в почве гумуса. В Российской Федерации исходя из рекомендаций научно-исследовательских институтов, средне годовая обеспеченность органическими удобрениями для основных природно-экономических районов следующая (табл. 11).

Таблица 11 - Количество органических удобрений, рекомендуемых в севооборотах, т/га пашни

Природно-экономический регион	Полевые с большой насыщенностью		Овощные, кормовые	Кормовые, рисовые, овощные при орошении
	зерновыми и многолетними травами	пропашными		
Северо-Западный	8-10	12-15	15-25	–
Центральный	8-10	10-15	15-20	–
Волго-Вятский	8-12	10-12	15-20	–
Уральский	5-8	8-10	12-15	–
Центрально-Черноземный	4-5	5-8	8-10	10-15
Северо-Кавказский	4-5	5-8	8-10	8-10
Поволжье, Южный Урал	4-6	5-8	6-10	7-8
Западная Сибирь	4-6	5-8	6-10	8-10
Восточная Сибирь	5-6	6-8	6-10	–
Дальний Восток	5-6	6-8	8-10	8-10

Способы определения выхода навоза при обычном содержании скота. Для определения планового выхода навоза можно использовать несколько способов.

Определение выхода навоза по способу, предложенному ВИУА. Основано на валовом содержании сухого вещества в рационе животных с учетом переваримости кормов и их потерь. Содержание сухого вещества в экскрементах (кал + моча) составляет 10 %, т.е. выход экскрементов в 10 раз больше содержания в них сухого вещества. Сухое вещество навоза представляет собой сумму сухого вещества непереваримого корма, потерь его во время кормления и подстилки животным.

$$H = \{[(C_{в.р.} - A) \times 100 - K / 100 + A] \times 10 + П\} \times 100 - У / 100, \text{ где}$$

H – выход навоза, т; $C_{в.р.}$ – сухое вещество рациона, т; A – потеря сухого вещества корма, попадающего в навоз, т; K – коэффициент переваримости сухого вещества рациона, %; $П$ – масса подстилки, т; $У$ – убыль навоза при хранении, %.

Потери корма при кормлении свиней и молодняка крупного рогатого скота составляют 10%, коров – 5%. Коэффициент переваримости сухого вещества корма для откорм-

мочного поголовья молодняка крупного рогатого скота равен 60%, для коров – 55, для свиней – 70%. Убыль навоза при хранении в стойловый период принимают за 15%, а в пастбищный – за 25%. Для подстилочного навоза убыль массы при хранении составляет в среднем 10%.

Во время пастбы (примерно 2/3 в сутки) экскременты животных теряются на пастбище и к навозу, накопленному за стойловый период, прибавляется только 1/3 выхода экскрементов животных.

Накопление навоза можно также определить по выходу экскрементов от различных групп животных согласно утвержденным нормативам (табл. 12, 13).

Таблица 12 - Суточный выход экскрементов от крупного рогатого скота при средней влажности 90% (Васильев, Филиппова)

Крупный рогатый скот	Выделение одним животным, кг/сутки		
	экскрементов	в том числе	
		кал	моча
Быки-производители	40	30	10
Коровы	55	35	20
Нетели	27	20	7
Телята до 6 мес., на откорме до 4 мес.	7,5	5	2,5
Молодняк 6-12 мес., на откорме 4-6 мес.	14	10	4
Молодняк на откорме 6—12 мес.	26	14	12
Молодняк старше 12 мес. на откорме	35	23	12

Таблица 13 - Суточный выход экскрементов от свиней (Васильев, Филиппова)

Показатель	Хряки	Свиноматки			Поросята отъемыши до 30 кг	Свиньи на откорме, кг		
		холостые	супоросные	с поросятами		до 40	40-80	более 80
масса экскрементов	11,1	8,8	10,0	15,3	2,4	3,5	5,1	6,6
влажность, %	89,4	90,8	91,0	90,1	86,0	86,6	87,0	87,5

Определение выхода свежего навоза по методу Вольфа. Этот метод основан на учете поедаемого корма и применяемой подстилки. Выход свежего навоза (кг/сутки) рассчитывают по формуле:

$$H = (K / 2 + П) \times 4, \text{ где}$$

K – скормливаемое количество корма, кг сухого вещества; $П$ – масса подстилки, кг.

Поскольку считается, что только половина корма переваривается, то количество корма делят на 2. Так как влажность свежего навоза, как правило, близка к 75 %, то суммарное количество непереваримой части корма и подстилки умножают на 4.

Определение выхода навоза по таблицам. Общее количество навоза можно определить путем умножения суточного количества навоза на продолжительность стойлового периода и общее поголовье скота:

$$B_c = B_d \times D_c \times Ч_c / 1000, \text{ где}$$

B_c – выход навоза за стойловый период от группы скота, т; B_d – выход свежего навоза в день, кг; D_c – длина стойлового периода, дни; $Ч_c$ – численность стада, гол.

Для подстилки в скотных дворах используют солому зерновых культур, верховой слаборазложившийся торф, а также сухую торфяную крошку переходного и низинного торфа, древесные опилки и стружки (табл. 14).

Очень часто в хозяйстве трудно найти данные по скормливаемому животному корму или применяемой подстилке. В этом случае можно использовать данные суммарного выхода навоза за стойловый период, которые приводятся в справочной литературе. Данные по примерному выходу навоза за год от одного животного приведены в таблице 15.

Таблица 14 - Нормы подстилки для животных, кг/сутки

Животные	Солома зерновых культур	Верховой слабо-разложившийся (сфагновый) торф с влажностью 40-50 %	Сухая торфяная крошка переходного и низинного торфа	Древесные опилки, стружки
Крупный рогатый скот	4-6	3-4	10-20	4-6
Телята	2-3	4-6	8-10	2-4
Лошади	3-5	2-3	8-10	2-4
Овцы и козы	0,5-1,0	–	–	–
Свиноматки с поросятами	5-6	3-4	–	–
Хряки	2-3	–	–	2-3
Холостые свиноматки	2-3	1-1,5	5-6	2-3
Откормочные свиньи	1-1,5	0,5-1,0	2-3	1,5-2

Таблица 15 - Примерное количество навоза, получаемого в год от одного животного, т

Животные	Продолжительность стойлового периода, дни			
	240-220	220-200	200-180	менее 180
Крупный рогатый скот	9-10	8-9	6-8	4-5
Лошади	7-8	5-6	4-4,5	3-4
Свиньи	2,25	1,75	1,5	1,0
Овцы	1,0	0,9	0,6-0,8	0,4-0,5

Свежий навоз, вывезенный из скотного двора, хранят в течение разного времени. При этом в зависимости от способа хранения и продолжительности получают различные по степени разложения виды навоза. Для определения количества навоза с разной степенью разложения можно использовать следующие коэффициенты: полуперепревший – 0,7-0,8, перепревший – 0,5, перегной – 0,25. Так, из 1000 т свежего навоза получится 700-800 т полуперепревшего, 500 т перепревшего навоза и 250 т перегноя. При подсчете количества навоза в хозяйстве к одной голове крупного рогатого скота (по выходу навоза на 1 голову) приравнивают 1,5 головы лошади, 2 головы молодняка крупного рогатого скота до двух лет, 3-5 телят, 4-5 взрослых свиней и 10 овец.

Определение количества жидкого и полужидкого навоза при бесподстилочном содержании животных. При бесподстилочном содержании животных основными компонентами навоза являются кал и моча. Выход этого вида навоза зависит от группы животных, типа кормления и способа содержания.

Средний выход навоза от 1 головы крупного рогатого скота составляет 50-60 л/сутки (30-35 л кала + 15-20 л мочи + 5 л воды), от 1 свиньи – 12 л/сутки (8 л кала + 2 л мочи + 2 л воды).

Выход бесподстилочного навоза особенно зависит от системы удаления навоза из животноводческого помещения (табл. 16).

Таблица 16 - Выход бесподстилочного навоза в зависимости от системы его уборки (по данным Всероссийского НИИ по сельскохозяйственному использованию сточных вод)

Комплекс	Количество одновременно содержащихся животных, тыс. гол.	Выход экскрементов животных, тыс. м ³ /год	Выход навоза с комплекса, тыс. м ³ /год	
			при самосплаве	при гидросмыве
Свиноводческий:				
на 12 тыс. гол.	12	36,0	52,4	101,0
на 24 тыс. гол.	24	70,5	96,8	195,5
на 54 тыс. гол.	37	114,0	181,0	332,5
на 108 тыс. гол.	73	239,0	321,0	940,0
Молочный:				
на 600 гол.	0,6	12,0	14,2	20,8
на 800 гол.	0,8	16,0	18,9	30,6
на 1200 гол.	1,2	24,0	28,5	46,0
Откормочный для молодняка КРС на 10 тыс. гол.	9,883	94,8	113,0	–

При разбавлении навоза водой до влажности 95% объем увеличивается в 2 раза по сравнению с объемом экскрементов.

Определение выхода навозной жижи. Навозная жижа получается при стойловом содержании животных в результате неполного впитывания подстилкой мочи. Кроме того, она

образуется при разложении навоза в навозохранилище.

При определении выхода навозной жижи нужно исходить из следующего. Поскольку она образуется в больших количествах при хранении навоза в навозохранилищах, то ее выход при разных способах хранения будет неодинаковым. По данным ВИУА, за четыре месяца из 10 т исходного навоза навозной жижи выделялось при плотном хранении 170 л, рыхлоплотном – 450, рыхлом – 1000 л.

Общее количество навозной жижи составляет в среднем 10- 15% массы свежего навоза.

Количество навозной жижи можно определить по количеству скота. В год от 1 головы крупного рогатого скота накапливается 2-2,5 м³, от молодняка – 1,0-1,5 и от свиней – 0,8-1,0 м³ навозной жижи.

Технологии подготовки компостов в условиях хозяйства. При наличии в хозяйстве торфа для увеличения количества органических удобрений можно готовить компосты.

Торфонавозные компосты. Следует готовить на поле, около животноводческих помещений или в навозохранилище. Соотношение между навозом и торфом зависит от их качества и времени года. В зимний период оно может составить 1 : 1, а летом – 1:2 или 1:3. Наиболее эффективны торфонавозные компосты при узком соотношении торфа и навоза (1 : 1). В торфонавозный компост рекомендуют добавлять фосфоритную муку (1,5-2% от компоста массы).

Торфожижевые компосты. Можно готовить в поле или непосредственно на осушенном торфянике весной и летом. Для приготовления таких компостов пригодны все виды торфа, за исключением торфа, содержащего более 5% СаО в пересчете на сухое вещество. При изготовлении торфожижевых компостов на каждую тонну торфа следует брать 1-3 т навозной жижи и 1,5-2% фосфоритной муки от массы компоста. Торфожижевые компосты можно использовать сразу после смешивания компостов.

Компосты из жидкого навоза и торфа. Следует гото-

вить таким же способом, как и торфожижевые, при соотношении торфа и навоза 1 : 1, 2 : 1, оптимальной влажности торфа до 50% и жидкого навоза – 85-90%.

Торфонавозные смеси. Они значительно снижают трудовые и денежные затраты при приготовлении компостов. При этом заготовленную для удобрения торфокрошку вывозят непосредственно на удобряемое поле и равномерно разбрасывают. Необходимое количество подстилочного или жидкого навоза равномерно распределяют по торфокрошке и сразу заделывают в почву.

Использование соломы в качестве органического удобрения. Солому используют под озимые культуры в количестве 3-6 т/га и под яровые – 2-4 т/га. Для ускорения разложения соломы ее необходимо измельчить до 5-10 см, равномерно разбросать на поле и заделать в почву луцильником. Соломенную массу можно оставить в измельченном виде на поле и запахать поздней осенью. При использовании соломы в качестве органического удобрения необходимо дополнительно вносить азотное удобрение. Доза азота зависит от климата, почвы, количества соломы и колеблется от 8 до 10 кг на 1 т соломы.

Азот следует добавлять к соломе в виде аммиачной селитры, мочевины, аммиачной воды, аммиака, жижи, жидкого навоза. Наиболее приемлемой формой азотных удобрений является аммиачная вода. На 3-6 т/га соломы ее рекомендуется вносить в количестве 150-300 кг; затем массу заделывают луцильником. Если аммиачная вода не может быть заделана одновременно с соломой, ее необходимо внести и запахать осенью.

Определение потерь при хранении, транспортировке и внесении навоза. При составлении плана применения органических удобрений наряду с определением общего выхода навоза, а также при подготовке ком постов в том или ином хозяйстве нужно знать основные потери органического вещества и азота при хранении (табл. 17).

Таблица 17 - Средние потери органического вещества и азота из навоза в зависимости от продолжительности его хранения, % первоначального содержания (по данным ВИУА)

Показатель	Длительность хранения навоза, мес.		
	2	4	6-8
Азот	20-25	30-35	45-50
Органическое вещество	25-30	35-40	50-60

При разных способах хранения эти потери очень сильно различаются (табл. 18). Они наиболее велики при рыхлом хранении и в значительной степени снижаются при рыхло-плотном и плотном хранении. Торфяная подстилка способствует уменьшению потерь азота и жижи.

Таблица 18 - Потери азота, жижи и органических веществ из навоза в зависимости от способа хранения и вида подстилки (по данным ВИУА и НИУИФ)

Способ хранения	Потеряно из навоза, %					
	на соломенной подстилке			на торфяной подстилке		
	органических веществ	азота	жижи	органических веществ	азота	жижи
Рыхлый	32,6	31,4	10,5	40,0	25,3	4,3
Рыхлоплотный	24,6	21,6	5,1	32,9	17,0	3,4
Плотный	12,2	10,7	1,9	7,0	1,0	0,6

Расчет площади навозохранилищ. При хранении навоза и компостов в навозохранилищах необходимо знать площадь последних. Обычно навозохранилища устраивают в хозяйствах на возвышенном месте на расстоянии не менее 200 м от жилых домов, котлованного (южные районы страны) или наземного типа. Размер навозохранилища определяют количеством навоза, накапливающегося в стойловый период. При высоте штабеля 1,5 м на одно животное требуется следующая площадь навозохранилища: крупный рогатый скот 2,0-2,5 м², рабочие лошади 1,4-1,75 м², молодняк крупного рогатого скота и лошадей 1,00-1,25 м², свиньи 0,40-0,50 м², овцы 0,20-0,30 м².

Обязательным условием для каждого навозохранилища является устройство жижесборников, которые располагают ниже дна навозохранилища по его продольным сторонам. Объем их устанавливают из расчета $1,3 \text{ м}^3$ на каждые 100 т навоза. Вместимость жижесборника должна быть не менее $3-4 \text{ м}^3$.

Объем жижесборников для скотных дворов, где используют подстилку, обычно определяют из того количества навозной жижи, которое образуется при содержании животных. Например, при содержании 200 коров за стойловый период образуется 400 т навозной жижи, т.е. по 2 т на каждое животное. При расчете объема жижесборника нужно предусмотреть количество выгрузок навозной жижи в период содержания скота.

План распределения органических удобрений между севооборотами и угодьями. При составлении плана распределения органических удобрений определяют общую потребность хозяйства в органических удобрениях, исходя из зональных особенностей того или иного хозяйства и типа севооборотов. Определяют количество навоза, которое будет получено от животных. Если навоза недостаточно, то определяют способы увеличения количества органических удобрений. Проводят компостирование торфа с навозом, фекалиями; хозяйство закупает органические удобрения в виде различных компостов, птичий помет, отходы промышленности и др. Организация работ и технология приготовления компостов описаны в учебниках и справочниках по агрохимии и агрономии.

После того как в хозяйстве полностью определены основные виды органических удобрений, можно приступать к их распределению между севооборотами. В первую очередь их используют для удобрения в овощных и кормовых (прифермских) севооборотах. Поскольку компосты по действию на урожай и качество основных культур не уступают навозу, их можно применять под овощные и кормовые культуры с длинным вегетационным периодом, например под поздние

сорта капусты белокочанной, под кормовую свеклу, брюкву и другие культуры. В органических удобрениях нуждаются также картофель, озимые и даже яровые зерновые культуры. Например, общая потребность хозяйства в органических удобрениях на 1000 га пашни составляет 15 000 т. Хозяйство при использовании всех резервов будет иметь только 12 000 т, при этом 6000 т навоза и 6000 т торфонавозных компостов хорошего качества. Все это количество будет распределено следующим образом.

В хозяйстве три севооборота: овощекормовой и 2 полевых. Общая площадь овощекормового севооборота 180 га, каждого поля – 30 га. Он имеет следующий набор культур:

- 1 – вика + овес с подсевом многолетних трав;
- 2 – многолетние травы 1-го года;
- 3 – многолетние травы 2-го года;
- 4 – капуста белокочанная;
- 5 – свекла столовая;
- 6 – морковь столовая.

Оптимальной насыщенностью 1 га севооборотной площади овощных и кормовых севооборотов на дерново-подзолистых почвах органическими удобрениями является 20-25 т. В соответствии с этим определяем, что если на каждый гектар будет внесено 25 т органических удобрений, то на 180 га необходимо вывезти и внести 4500 т.

Один из двух полевых севооборотов с общей площадью 400 га включает 2 поля картофеля:

- 1 – многолетние травы 1-го года;
- 2 – многолетние травы 2-го года;
- 3 – озимая пшеница;
- 4 – картофель ранний;
- 5 – ячмень;
- 6 – овес;
- 7 – картофель поздний;
- 8 – ячмень с подсевом многолетних трав.

Площадь одного поля в среднем 50 га.

В полевых севооборотах с большой долей пропашных культур оптимальная насыщенность 1 га органическими удобрениями составляет 12-15 т. Следовательно, на всю площадь севооборота нужно выделить примерно 4800 т.

На второй полевой севооборот, где очень мало пропашных культур, а основное место занимают зерновые культуры, приходится оставшаяся часть органических удобрений – 3300 т. Это семипольный севооборот с общей площадью 420 га и площадью одного поля 60 га:

- 1 – многолетние травы 1-го года;
- 2 – многолетние травы 2-го года;
- 3 – яровая пшеница;
- 4 – брюква кормовая;
- 5 – ячмень;
- 6 – пар занятый (горох + овес);
- 7 – озимая пшеница с подсевом многолетних трав.

На каждый гектар севооборотной площади в третьем севообороте приходится 7,9 т органических удобрений. Это почти столько, сколько рекомендуют вносить на 1 га в полевых севооборотах с низкой насыщенностью пропашных культур.

После такого расчета определяют среднее количество органических удобрений, приходящееся на 1 га пашни в хозяйстве. В данном примере оно составляет 12 т (12 000 : 1000).

Распределение органических удобрений по полям севооборотов. При распределении органических удобрений по полям севооборота нужно руководствоваться прежде всего биологическими особенностями культур и отзывчивостью их на органическое удобрение. В то же время следует помнить, что для всех культур минимальной дозой органических удобрений, которая экономически и агротехнически целесообразна, является 20 т/га. Так как это условие нельзя выполнить, надо выбрать 2-3 поля в севообороте, в которых будут использовать органическое удобрение. На дерново-подзолистых и серых почвах органические удобрения вносят

под картофель, овощи, кормовые корнеплоды, коноплю, сахарную свеклу и другие пропашные культуры из расчета 30-60 т/га. Учитывая последствие удобрений, их можно вносить под озимые культуры. Средняя доза должна быть ниже, чем под пропашные, – 20-30 т/га.

В овощном севообороте в ранее разобранный пример удобрения нужно вносить под капусту белокочанную и свеклу столовую (по 60 т/га, или всего 3600 т) и под смесь вики с овсом (по 30 т/га, или всего 900 т).

В первом полевом севообороте органические удобрения будут внесены в двух полях картофеля: под ранний – 46 т/га, или 2300 т; под поздний – 50 т/га, или всего 2500 т.

В третьем севообороте органические удобрения вносят под кормовую брюкву – 35 т/га и в занятом пару под озимую пшеницу – 20 т/га.

В условиях черноземных почв органические удобрения вносят под кукурузу, озимую пшеницу, сахарную свеклу. В условиях Западной Сибири навоз на черноземах и каштановых почвах применяют, как правило, в чистом пару, под яровую пшеницу и кукурузу на силос.

Баланс гумуса. Вопрос о применении органических удобрений не может быть решен до конца, если не учитывается баланс гумуса в почвах. Необходимость производственного регулирования баланса органического вещества обосновывается прямой зависимостью физических, физико-химических и технологических свойств пахотной почвы, от содержания в ней гумуса; решающим влиянием органического вещества на биологические свойства почвы, участием его в превращении внесенного в почву с удобрениями азота; усилением регуляторного влияния гумуса при внесении высоких доз минеральных удобрений.

Для расчета баланса гумуса можно предложить две методики:

1) непосредственно по справочным данным расхода гумуса в почвах и поступлению его за счет гумификации рас-

тительных остатков и навоза с учетом коэффициентов гумификации;

2) по балансу азота.

Сущность первого метода состоит в следующем. Вначале устанавливают количество гумуса, подвергающееся минерализации. Для Западного региона и других регионов Нечерноземной зоны интенсивность минерализации гумуса представлена в таблице 19.

Таблица 19 - Примерная интенсивность минерализации гумуса в дерново-подзолистых почвах разной степени гумусированности

Содержание гумуса, %	Минерализация гумуса, т/га в год		
	Почва средне- и легкосуглинистые	Почва супесчаные, подстилаемая моренными супесями и суглинками	Почва супесчаные, подстилаемая песками
2-2,25	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,3
1,75-2,0	0,8-0,9	0,85-0,95	1,0-1,1
1,5-1,75	0,65-0,7	0,75-0,80	0,9-0,95
1,25-1,5	0,55-0,6	0,65-0,70	0,75-0,8
<1,25	0,4-0,45	0,50-0,55	0,55-0,65

В зависимости от возделываемой культуры эти данные существенно различаются (табл. 20).

Таблица 20 - Ежегодная минерализация гумуса под основными сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава (по Матвеевой)

Культура	Почва			
	суглинистые и супесчаные, подстилаемые мореной, при запасах гумуса 50 т/га		супесчаные, подстилаемые песками и песчаные, при запасах гумуса 35 т/га	
	% от запасов	т/га	% от запасов	т/га
Зерновые, лен	1,7	0,9	2,1	0,7
Картофель	3,0	1,5	3,8	1,3
Сахарная свекла, кормовые корнеплоды, овощные	3,4	1,7	4,3	1,5
Кукуруза (силос)	2,6	1,3	3,3	1,2
Однолетние травы (сено)	1,5	0,8	1,8	0,6
Силосные	1,3	0,7	1,6	0,5

В условиях Западной Сибири средние данные по минерализации гумуса составляют 1,0-1,18 т/га, в Центрально-Черноземном районе показатели минерализации гумуса колеблются в зависимости от возделываемых культур от 1,5 до 3 т/га.

В каждом конкретном случае нужно обращаться к соответствующей литературе, где рассмотрены вопросы по минерализации гумуса.

Ниже приведена минерализация гумуса в дерново-подзолистых почвах при возделывании различных сельскохозяйственных культур.

Культура	Потери гумуса, т/га	Культура	Потери гумуса, т/га
Ячмень	1,0	Кострец безостый	0,7
Озимая рожь	1,0	Клевер 1-го г. п. (овощной севооборот)	1,2
Овес	1,1		
Горохово-овсяные смеси		Силосные	0,8
полевой севооборот	0,9	Корнеплоды кормовые (полевой севооборот)	2,0
овощной севооборот	1,3		
Капуста белокочанная	3,1	Кормовая капуста	2,04
Морковь, свекла столовая	3,1	Картофель	1,80
Многолетние травы	0,8		

Вымывание органического вещества из пахотного слоя дерново-подзолистых почв не превышает 30-40 кг/га в год. С поверхностным стоком дерново-подзолистые почвы теряют за год гумуса максимум 80-100 кг/га. Приходная часть гумусового баланса складывается из поступления органического вещества с корневыми и пожнивными остатками культур, с навозом и другими органическими удобрениями, с семенами и посадочным материалом и из связывания некоторого количества CO₂, атмосферы сине-зелеными водорослями.

Поступление органического вещества с корневыми и пожнивными остатками можно установить по коэффициенту выхода растительных остатков по отношению к основной продукции. Так, при урожайности зерна озимой ржи 1 т/га и коэффициенте 2,2 поступление корневых и пожнивных остатков составит 2,2 т/га. Данные о коэффициентах выхода и накоплении в почвах растительных остатков приведены в таблицах 21, 22.

Таблица 21 - Коэффициенты выхода корневых и пожнивных остатков при возделывании основных сельскохозяйственных культур

Культура	Урожайность, т/га	Коэффициент выхода растительных остатков по отношению к основной продукции	Культура	Урожайность, т/га	Коэффициент выхода растительных остатков по отношению к основной продукции
Озимая рожь	1,0	2,2	Кукуруза на силос	10,0	0,27
	2,0	1,5		20,0	0,21
	3,0	1,3		30,0	0,16
Озимая пшеница	1,0	2,2	Кормовые корнеплоды	10,0	0,12
	2,0	1,7		20,0	0,09
	3,0	1,5		30,0	0,08
Яровая пшеница	1,0	2,0	Силосные (без кукурузы)	10,0	0,24
	2,0	1,6		20,0	0,18
	3,0	1,4		30,0	0,17
Ячмень	1,0	2,0	Однолетние травы на сено (горох, вика, овес)	1,0	2,2
	2,0	1,6		2,5	1,5
	3,0	1,1		4,0	1,2
Кукуруза на зерно	1,0	2,0	Многолетние травы с клевером (сено)	1,0	2,8
	2,0	1,5		3,0	1,9
	3,0	1,3		6,0	1,7
Лен (волокно)	0,3	4,4	Горох, вика на зерно	1,0	1,9
	0,5	3,2		3,0	1,2
Сахарная свекла	10,0	0,13	Подсолнечник (зерно)	1,0	2,4
	25,0	0,11		2,0	1,7
	40,0	0,08			
Картофель	10,0	0,17			
	20,0	0,14			
	30,0	0,10			

Таблица 22 - Накопление пожнивно-корневых остатков в дерново-подзолистых почвах в зависимости от урожайности сельскохозяйственных культур, т сухого вещества на 1 га

Озимые зерновые		Яровые зерновые, зернобобовые		Многолетние травы	
Урожайность зерна, т/га	Остатки	Урожайность зерна, т/га	Остатки	Урожайность сена, т/га	Остатки
<1	<1,9	<1,0	<1,4	<1,0	<2,1
1,1-1,6	1,98-2,70	1,1-1,5	1,43-1,96	1,1-2,0	2,09-3,8
1,6-2,0	2,40-3,0	1,6-2,0	1,92-2,40	2,1-3,0	3,36-4,8
2,1-2,5	2,73-3,25	2,1-2,5	2,31-2,75	3,1-4,0	4,34-5,60
2,6-3,0	3,12-3,60	2,6-3,0	2,6-3,0	4,1-5,0	5,33-6,6
3,1-3,5	3,41-3,85	3,1-3,5	2,79-3,15	5,1-6,0	6,12-7,2
3,6-4,0	3,96-4,40	3,6-4,0	3,24-3,60	6,1-7,0	6,71-7,7
>4,0	>4,4	>4,0	>3,2	7,1-8,0	7,1-8,0
Однолетние травы		Кукуруза на силос		Картофель, корнеплоды, овощи	
Урожайность зеленой массы, т/га	Остатки	Урожайность Зеленой массы, т/га	Остатки	Урожайность продукции, т/га	Остатки
<5,0	<1,4	<5,0	<0,6	<5,0	0,7
5,1-10,0	1,4-2,8	5,1-20,0	0,61-2,4	5,1-10,0	0,71-1,4
10,1-15,0	2,52-3,75	20,1-30,0	2,21-3,30	10,1-15,0	1,31-1,95
15,1-20,0	3,02-3,50	30,1-35,0	3,01-3,50	15,1-30,0	1,81-3,60
20,1-25,0	3,01-3,75	35,1-40,0	3,16-3,60	30,1-40,0	3,31-4,4
25,1-30,0	3,26-3,90	>40	>3,6	>40,0	>4,4
30,1-40,0	3,31-4,40	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–

Если урожайность выше, чем в таблице 20, то необходимо брать коэффициент для последнего высокого предела урожайности.

В разных почвенно-климатических условиях эти коэффициенты могут варьировать.

Поступление органического вещества с продуктами жизнедеятельности почвенных водорослей и с семенным материалом незначительно и колеблется в пределах 100-200 кг углерода на 1 га. Поэтому расходы гумуса при вымывании и с поверхностным стоком компенсируются поступлением его в результате ассимиляции водорослями.

Далее необходимо установить коэффициенты гумификации растительных остатков и органических удобрений. Ко-

эффиценты гумификации в настоящее время приняты следующие: растительные остатки зерновых, зернобобовых и льна – 0,15, многолетних трав и льна – 0,18, кукурузы и других силосных культур – 0,10, картофеля, корнеплодов и овощных культур – 0,05, навоза – 0,20, торфонавозного компоста – 0,30, соломы на удобрение – 0,25.

Второй метод по расходованию азота из почвы и удобрений предложил А.М. Лыков. Сущность метода состоит в том, что в процессе минерализации гумуса образуются минеральные соединения азота, которые используются растениями и микрофлорой. Исходя из того, что соотношение углерода и азота (C : N) в гумусе равно 10, по выносу растениями азота можно судить об ориентировочном расходе гумуса из почвы. Растения потребляют азот из минеральных и органических удобрений. В расчетах по балансу гумуса можно принять, что усваивается азота из почвы примерно 50 % его выноса. Минерализация гумуса в различных по гранулометрическому составу почвах идет неодинаково; отличается она и при возделывании культур. А.М. Лыков предлагает для учета этого показателя использовать следующие поправочные коэффициенты: для тяжелосуглинистых почв – 0,8, среднесуглинистых – 1,0, легкосуглинистых – 1,2, супесчаных – 1,4, песчаных – 1,8; для многолетних трав – 1,0, зерновых и других однолетних культур на силос – 1,2, пропашных – 1,6.

Использование азота из минеральных удобрений составляет 50%, из навоза – 25, растительных остатков – 25%; обеспеченность потребности клевера в азоте за счет азота атмосферы в вариантах без удобрений принята за 80 %, при внесении удобрений – за 70%; для викоовсяной смеси – соответственно за 20 и 10%.

Количество поступающих растительных остатков автор метода предлагает рассчитывать по уравнениям регрессии (табл. 23).

Таблица 23 - Количество сухого вещества поступающего в почву, ц

Культура	Вид основной продукции	Интервалы урожаев	Уравнение линейной регрессии
Озимая рожь	зерно	15-35	$Y = 0,52X + 13,64$
Озимая пшеница	зерно	20-40	$Y = 0,36X + 17,00$
Ячмень	зерно	20-45	$Y = 0,33X + 16,34$
Овес	зерно	20-35	$Y = 0,54X + 12,19$
Гречиха	зерно	5-11	$Y = 0,90X + 11,40$
Горох	зерно	12-25	$Y = 0,62X + 6,50$
Лен	волокно	40-60	$Y = 0,125X + 8,88$
Картофель	клубни	100-280	$Y = 0,014X + 7,00$
Кормовая свекла	корнеплоды	350-500	$Y = 0,003X + 3,30$
Сахарная свекла	корнеплоды	250-300	$Y = 0,038X + 4,11$
Люпин	зел. масса	280-450	$Y = 0,06X + 3,66$
Кукуруза	зел. масса	120-450	$Y = 0,057X + 9,06$
Подсолнечник	зел. масса	70-500	$Y = 0,033X + 2,94$
Вико-овсяная смесь	сено	15-65	$Y = 0,25X + 14,74$
Клевер красный	сено	20-70	$Y = 0,35X + 31,30$
Злаковая травосмесь	сено	20-40	$Y = 0,18X + 30,60$

Примечание: Y – количество растительных остатков (абсолютно сухое вещество), оставляемое культурой на поле, ц/га; X – урожайность культуры (основная продукция, ц/га)

3. Определение потребности сельскохозяйственных культур в минеральных удобрениях

Одна из важнейших проблем химизации земледелия – определение оптимальных, отвечающих режиму питания сельскохозяйственных культур, доз удобрений.

Разнообразие почвенного покрова по генезису, гранулометрическому составу, свойствам, химическому составу, с одной стороны, и разнообразная реакция растений на удобрения – с другой, требуют очень осторожного подхода к определению доз удобрений в каждом конкретном районе, хозяйстве, поле или отдельном участке. Решение этой важной задачи необходимо для обеспечения высоких и стабильных урожаев.

Количество питательных веществ, необходимых для получения запланированного урожая, определяется плановой урожайностью культуры, биологическим выносом элементов питания, коэффициентами использования растениями основных питательных веществ из почвы и питательных веществ удобрений, последствием удобрений, внесенных под предшествующую культуру, влиянием пожнивно-корневых остатков предшественников.

Вынос из почвы питательных веществ с урожаем. Урожай сельскохозяйственных культур определяется суммарным количеством питательных веществ, взятых растениями из воздуха и удобрений. Это суммарное количество элементов питания, сосредоточенное в различных органах растения, называется биологическим выносом. Он включает две части: хозяйственную (хозяйственный вынос) и остаточную (пожнивные и корневые остатки, опавшие листья и питательные вещества, перешедшие из корней в почву во второй половине вегетации). При различного рода расчетах, когда определяют потребность в удобрениях, обычно используют данные хозяйственного выноса (табл. 24).

Таблица 24 - Вынос азота (N), фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O) урожаем различных культур

Культура	Основная продукция	Вынос на 1 т основной продукции с учетом побочной, кг		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеница:				
озимая	зерно	30	13	25
яровая	зерно	35	12	25
Рожь озимая	зерно	25	12	26
Ячмень	зерно	25	11	22
Овес	зерно	33	14	29
Рис	зерно	21	8,1	26,5
Кукуруза	зерно	34	12	37
Просо	зерно	33	10	34
Гречиха	зерно	30	15	40
Горох	зерно	66	16	20

Продолжение таблицы 24

Вика	зерно	65	14	16
Люпин	зерно	68	19	47
Соя	зерно	71	16	18
Подсолнечник	семена	60	26	186
Рапс озимый	семена	49	23	30
Горчица белая	семена	57	20	23
Клещевина	семена	72	17	57
Лен-долгунец	семена	106	53	93
Лен-долгунец	волокно	80	40	70
Хлопчатник	хлопок-сырец	45	15	50
Конопля	волокно	200	62	100
Свекла сахарная	корнеплоды	5,9	1,8	7,5
Картофель	клубни	6,2	2,2	9,5
Свекла кормовая	корнеплоды	4,9	1,5	6,7
Турнепс	корнеплоды	4,8	1,7	5,7
Морковь кормовая	корнеплоды	5,2	1,9	6,0
Брюква кормовая	корнеплоды	5,5	3,1	7,7
Морковь столовая	корнеплоды	3,2	1,6	5,0
Капуста белокочанная:				
ранняя	кочаны	3,4	1,2	3,6
поздняя	кочаны	3,5	1,1	4,4
Капуста цветная	кочаны	11,7	3,2	11,3
Томат	плоды	2,6	0,4	3,6
Огурец	плоды	1,7	1,4	2,6
Лук	луковицы	3,0	1,2	4,0
Плодовые и ягодные	плоды и ягоды	5,0	3,0	6,0
Виноград	ягоды	1,7	1,4	5,0
Чай	лист (на сухое вещество)	50,0	7,0	23,0
Табак, махорка	листья	24,5	6,6	50,9
Силосные культуры	надземная масса	5,2	1,0	2,8
Горох	надземная масса	6,5	1,5	5,2
Кукуруза на силос	надземная масса	2,5	1,5	5,0
Люпин	сухая масса	29,0	5,0	17,0
Клевер	сено	19,7	5,6	15,0
Люцерна	сено	26,0	6,5	15,0
Тимофеевка	сено	15,5	7,0	24,0
Клевер + тимофеевка	сено	17,6	6,0	17,5
Вика	сено	22,7	6,2	10,0
Пелюшка	сено	25,0	6,1	13,0
Естественные сенокосы	сено	17,0	7,0	18,0

Примечание. В различных почвенно-климатических зонах вынос элементов питания одними и теми же культурами неодинаков, поэтому нужно пользоваться только теми данными, которые получены при анализе урожая в данной зоне.

Использование питательных веществ из почв. Использование растениями питательных веществ определяется многими факторами, в результате чего в очень широких пределах изменяются коэффициенты использования (табл. 25).

Таблица 25 - Коэффициенты использования сельскохозяйственными культурами фосфора и калия из почвы в разных почвенно-климатических зонах (по Державину)

Культура	Коэффициент использования, %	
	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеница: яровая	2,6-46,5	2,1-32,7
озимая	3,4-33	8,5-46,0
Картофель	7,8-52,4	17,6-55,7
Сахарная свекла	5,4-52,6	20,0-89,7
Лен-долгунец	5,9-31,6	24,8-60,0

Наиболее изучены коэффициенты использования фосфора и калия из почвы. Они сильно варьируют в зависимости от реакции почвы, гранулометрического состава, возделываемых культур, а также от содержания их в почве (табл. 26, 27).

Таблица 26 - Использование растениями подвижного фосфора (P₂O₅) из пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв, % (по Детковской)

Содержание в почве P ₂ O ₅ , мг/100 г	Сильно- и среднесиловые почвы (рН 4,5-5,5)			Слабокислые и нейтральные почвы (рН более 5,5)		
	Зерновые	Картофель, корнеплоды, кукуруза	Лен	Зерновые	Картофель, корнеплоды, кукуруза	Лен
Менее 6	10-12	11-14	9-11	12-15	16-20	10-13
6,1-10	7-9	9-10	6-8	10-12	12-15	9-10
10,1-15	6-7	7-9	4-6	8-9	9-11	7-8
15,1-25	4-5	5-6	3-4	6-7	7-8	4-6
Более 25	3-4	4-5	2-3	4-5	5-7	3-5

Примечание. На дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах использование растениями фосфора выше на 1-2 % по сравнению с суглинистыми. На торфяно-болотных почвах пропашные культуры используют 20-30 %, зерновые – 15-25 % запаса подвижного фосфора в пахотном горизонте.

Таблица 27 - Использование растениями подвижного калия (K_2O) из пахотного горизонта дерново-подзолистых почв, % (по Детковской)

Содержание в почве K_2O , мг/100 г	Дерново-подзолистые суглинистые почвы				Дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы			
	Ярвые зерновые	Озимые зерновые	Картофель, корнеплоды, кукуруза	Лен	Ярвые зерновые	Озимые зерновые	Картофель, корнеплоды, кукуруза	Лен
Менее 8	18-20	22-27	25-30	15-17	19-22	25-30	27-32	16-18
8-14	15-17	18-20	20-25	12-14	16-18	20-22	22-26	13-15
14-20	10-12	13-15	16-18	7-9	11-14	16-18	17-19	8-10
20-30	6-9	7-10	11-13	4-7	8-10	9-11	12-14	5-8
Более 30	3-5	4-6	6-8	2-3	4-6	5-7	7-9	3-4

Примечание. На торфяных почвах пропашные культуры используют 45-55%, а зерновые – 40-50% запаса подвижных соединений калия в пахотном слое.

Для определения выноса питательных веществ из почвы необходимо знать и массу пахотного слоя, которая в зависимости от гранулометрического состава и глубины пахотного слоя находится в разных пределах (табл. 28).

Таблица 28 - Масса 1 га пахотного слоя почвы в зависимости от гранулометрического состава, т

Гранулометрический состав почвы	Плотность сложения, т/м ³	Глубина пахотного слоя, см	
		0-20	0-25
Суглинистые	1,1-1,25	2350-2420	2950-3100
Супесчаные	1,28-1,33	2550-2650	3200-3300
Песчаные	1,38-1,42	2750-2850	3450-3550
Торфяные низинные	0,30-0,50	600-1000	750-1250

В зависимости от содержания в почве подвижных форм разных элементов питания, особенно фосфора и калия, почвы подразделяют на группы, по которым можно судить об обеспеченности растений элементами питания и возможностях повышения урожайности (табл. 29, 30).

Таблица 29 - Группировка почв по содержанию подвижного фосфора, определяемого разными методами

Группа	Содержание подвижного фосфора	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы					
		по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину	по Аррениусу	по Эгнеру-Риму	по Ониани
I	Очень низкое	0-2	0-2	0-1	0-8	0-5	–
II	Низкое	2-5	2-5	1-1,5	8-15	5-7	до 30
III	Среднее	5-10	5-10	1,5-3,0	15-30	7-14	30-60
IV	Повышенное	10-15	10-15	3,5-4,5	30-45	>14	–
V	Высокое	15-25	15-20	4,5-6,0	45-60	–	>60
VI	Очень высокое	>25	>20	>6,0	>60	–	–

Таблица 30 - Группировка почв по содержанию обменного калия, определяемого разными методами

Группа	Содержание обменного калия	K ₂ O, мг/100 г почвы					
		по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину	по Аррениусу	по Эгнеру-Риму	по Ониани
I	Очень низкое	0-4	0-5	0-2	0-5	–	0-20
II	Низкое	4-8	5-10	2-4	5-10	7	20-30
III	Среднее	8-12	10-15	4-8	10-20	7-14	30-40
IV	Повышенное	12-17	15-20	8-12	20-30	>14	–
V	Высокое	17-20	20-30	12-18	30-40	–	>40
VI	Очень высокое	>20	>30	>18	>40	–	–

Использование питательных веществ из удобрений.

Большинство данных по использованию питательных веществ из удобрений получено при применении разностного метода.

Из органических удобрений коэффициенты использования питательных веществ наиболее полно разработаны для навоза (табл. 31).

Таблица 31 - Использование элементов питания первой культурой (зерновыми из навоза), % от общей дозы (по Михайлову)

Органическое удобрение	Разностный коэффициент использования		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз:			
слаборазложившийся	7,8	–	–
среднеразложившийся	23,4	31,0	48,4
сильноразложившийся	17,5	34,2	52,2
Перегной	4,8	32,8	45,8

В зависимости от почвенно-климатических условий эти коэффициенты меняются. Н. А. Сапожников для Нечерноземной зоны рекомендует следующие коэффициенты использования питательных веществ первой культурой из навоза (табл. 32).

Таблица 32 - Коэффициенты использования питательных веществ на дерново-подзолистых почвах (по Сапожникову)

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимые зерновые	20-25	10-20	20-30
Картофель	25-30	15-20	50-60
Кормовые корнеплоды	30-40	15-20	60-70

Наряду с навозом в качестве органических удобрений широко применяют торфяные компосты и другие удобрения. В таблице 33 приведены данные об использовании питательных веществ из органических удобрений в течение трех лет.

Таблица 33 - Действие и последствие органических удобрений

Органическое удобрение	Содержание питательных веществ, кг/т			Потребление из 1 т, кг								
				1-й год			2-й год			3-й год		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз КРС:												
на соломенной подстилке	1,7	0,8	4,5	0,9	0,5	2,2	0,5	0,15	0,9	0,25	0,10	0,70
на торфяной подстилке	1,6	0,6	3,0	0,8	0,4	1,8	0,5	0,10	0,4	0,25	0,10	0,30
на опилках	1,5	0,6	2,8	0,6	0,4	1,6	0,4	0,10	0,4	0,30	0,10	0,30
Свиной навоз	0,9	0,6	5,0	0,5	0,4	2,6	0,2	0,10	0,9	0,10	0,10	0,70
Конский навоз	2,1	1,2	5,0	1,2	0,8	2,9	0,5	0,3	0,9	0,3	0,1	0,70
Навозная жижа	1,0	0,3	3,0	0,8	0,2	1,8	0,2	0,1	0,6	–	–	–
Жидкий навоз КРС	1,4	0,4	2,0	0,8	0,25	1,2	0,3	0,1	0,4	0,2	0,05	0,3
Жидкий свиной навоз	1,1	0,45	3,0	0,7	0,3	1,8	0,2	0,1	0,5	0,1	0,05	0,4
Полужидкий навоз КРС	1,5	0,45	3,5	0,8	0,3	2,0	0,4	0,1	0,7	0,25	0,05	0,60
Полужидкий свиной навоз	1,3	0,5	4,5	0,7	0,3	2,4	0,3	0,1	0,8	0,2	0,1	0,6
Птичий помет (без подстилки)	10,0	6,0	5,0	5,0	4,0	2,5	3,0	2,0	1,2	2,0	–	0,5
Птичий помет на опилках	2,0	1,8	2,6	1,0	0,9	1,5	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3
Компост (навоз : торф =1:1)	1,3	0,5	2,5	0,7	0,30	1,3	0,3	1,10	0,6	0,2	0,1	0,20
Компост (навоз : торф =1:2)	1,2	0,4	2,0	0,6	0,25	1,0	0,30	0,10	0,5	0,2	0,05	0,20
Компост (навоз : торф =1:3)	1,1	0,3	1,1	0,5	0,15	0,7	0,25	0,10	0,3	0,1	0,02	0,10
Торф низинный	1,0	0,2	0,5	0,3	0,1	0,15	0,20	0,05	0,1	0,1	0,02	0,05

Использование питательных веществ из минеральных удобрений также определяется почвенными и климатическими условиями зоны. Оно зависит от возделываемой культуры, сорта, обеспеченности почв подвижными элементами питания, доз и способов внесения. Следовательно, эти особенности необходимо принимать во внимание в практических рекомендациях и различных расчетах.

Коэффициенты использования растениями питательных веществ из минеральных удобрений в условиях Нечерноземной зоны представлены в таблице 34.

Таблица 34 - Средние значения разностных коэффициентов использования растениями питательных веществ из минеральных удобрений в условиях Нечерноземной зоны (в год внесения в почву), %

Культура	Коэффициент использования		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Яровые зерновые	40-50	20-25	30-40
Озимые зерновые	40-50	20-25	30-40
Лен	30-40	10-15	25-35
Картофель	40-50	15-20	50-60
Кормовые культуры	50-60	20-25	50-60
Многолетние травы	40-50	15-20	25-30
Капуста	60-70	30-40	50-60

Овощные культуры в соответствии с их биологическими свойствами способны создавать высокие урожаи. Поэтому коэффициенты использования из удобрений азота и калия у них выше, чем у полевых культур, а фосфора – ниже (табл. 35).

Таблица 35 - Примерные значения разностных коэффициентов использования овощными культурами элементов питания из минеральных удобрений, %

Культура	Дерново-подзолистые			Пойменные			Черноземы		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста белокочанная: поздняя	50	11	55	65	12	60	90	30	35
среднепоздняя	–	–	–	55	14	40	–	–	–
ранняя	45	18	60	–	–	–	–	–	–
Морковь столовая	45	15	50	70	25	50	80	35	60
Свекла столовая	60	20	80	–	–	–	–	–	–
Лук	30	5	35	–	–	–	–	–	–
Томат	35	8	55	–	–	–	60	15	70
Огурец	–	–	–	–	–	–	80	25	55
Капуста цветная	–	–	–	50	13	60	–	–	–

При расчетах очень часто приходится применять разностные коэффициенты использования питательных веществ

за ротацию севооборота или за промежуток времени, занимаемый звеном севооборота. В настоящее время такие данные имеются в каждой почвенно-климатической зоне для типичных севооборотов. Они дают реальное представление о потреблении растениями питательных веществ не только из удобрений, но и из почвы при внесении удобрений. Однако, как отмечает Ю.П. Жуков, разностные коэффициенты позволяют сравнить использование элементов питания удобрений и самой почвы с контролем (без удобрений).

Для контроля использования питательных веществ Ю. П. Жуков предложил применять *балансовые коэффициенты*, которые можно рассчитать по формуле:

$$K_{\sigma} = (B_v : H) \times 100,$$

где K_{σ} – балансовый коэффициент использования питательных веществ, %; B_v – вынос с урожаем элемента в удобренном варианте, кг/га; H – доза удобрения, кг/га; 100 – коэффициент для перевода в %.

Балансовые коэффициенты дают представление не только о степени усвоения растениями питательных элементов из удобрения и почвы, но и о возможном плодородии почвы при внесении данного удобрения.

Кафедрой агрохимии МСХА на основании длительных многолетних опытов рекомендуются в зависимости от эффективного плодородия почв дифференцированные балансовые коэффициенты использования элементов питания из минеральных и органических удобрений для хозяйств центральных районов Нечерноземной зоны. С их помощью определяют дозы и соотношения удобрений под отдельные культуры и в севооборотах (табл. 3б).

Таблица 36 - Балансовые коэффициенты использования питательных элементов из органических удобрений в зависимости от эффективного плодородия дерново-подзолистых почв (по Жукову)

Плодородие (класс обеспеченности почв элементами питания)	Использование элементов по годам, %				
	1-й	2-й	3-й	4-й	в среднем за ротацию
<i>Азот</i>					
I	25-35	25-20	5-10	–	55-65
II	25-35	25-20	10-15	–	60-70
III	25-35	30-20	15-10	0-10	65-75
IV	25-35	30-25	20-15	5-10	75-85
V	25-35	30-25	25-20	5-15	85-95
VI	25-35	30-25	30-25	5-15	90-100
<i>Фосфор</i>					
I	20-40	25-10	10-15	–	55-65
II	20-45	25-15	15-10	–	60-70
III	25-45	25-15	15-10	0-5	65-75
IV	25-45	30-15	15-10	0-10	70-80
V	30-45	30-20	15-10	0-15	75-90
VI	30-45	30-20	15-20	5-20	85-105
<i>Калий</i>					
I	50-70	25-10	10-15	–	85-95
II	55-70	25-15	10-15	–	90-100
III	60-70	25-15	10-15	5	95-105
IV	60-70	25-15	10-15	5-10	100-110
V	60-70	30-20	10-15	10-15	110-120
VI	60-70	30-25	15-25	15-20	120-140

Наряду с коэффициентами использования питательных веществ из удобрений отдельными культурами необходимо иметь данные об использовании питательных веществ за всю ротацию севооборота или за время, занимаемое звеном севооборота. Такие данные имеются для типичных севооборотов по каждой почвенно-климатической зоне. В таблице 37 приведены коэффициенты использования питательных веществ из удобрений отдельными культурами в 5-польном зерно-пропашном севообороте на дерново-подзолистой почве в стационарном полевом опыте Белорусской сельскохозяйственной академии.

Таблица 37 - Коэффициенты использования питательных веществ в севооборотах на дерново-подзолистой почве (Горбылева)

№ поля	Культура	Коэффициент использования, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Ячмень	33,5	12,7	26,3
2	Бобовые	45,3	17,3	43,8
3	Лен	32,5	13,0	21,7
4	Озимая рожь	27,7	10,7	35,6
5	Картофель	30,2	17,1	31,9
В среднем		33,8	14,2	31,9

Из данных таблицы 37 видно, что средние за ротацию коэффициенты использования питательных веществ удобрений культурами на дерново-подзолистых почвах равны по азоту 33,8%, фосфору – 14,2, калию – 31,9%. В то же время отмечены значительные колебания этих коэффициентов по культурам.

Коэффициенты использования азота (иногда калия), рассчитанные разностным способом по приведенной формуле, очень часто бывают выше 100%.

$$C = (B_{\text{NPK}} - B_0) / N \times 100,$$

где B_{NPK} – вынос питательного вещества на делянках (участках) с NPK; B_0 – вынос на делянках без удобрений; N – доза внесенного азотного или другого удобрения.

Это объясняется тем, что при таком расчете трудно отделить использование азота удобрения от использования азота из почвы. Эти коэффициенты наиболее приемлемы для практических целей, так как они отражают в обобщенном виде и прямое использование питательных веществ удобрений, и косвенное влияние удобрений на использование растениями питательных веществ почвы.

Таким образом, коэффициенты использования пита-

тельных веществ из удобрений и почвы зависят от биологических особенностей культур, их сортов, типов, подтипов почв, запасов в них подвижных соединений питательных веществ, вносимых удобрений и многих других условий. Для обоснованного применения коэффициентов при расчете доз удобрений их необходимо устанавливать отдельно для каждой культуры с учетом почвенно-климатических и агротехнических условий.

Последствие удобрений. При определении потребности в удобрениях необходимо принимать во внимание их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в последующие годы, т.е. их последствие. По данным И.П. Мамченкова, последствие навоза очень высокое (табл. 38).

Таблица 38 - Действие и последствие навоза

Зона	Действие			Последствие, 1-й год		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Нечерноземная	23,0	13,0	13,0	12,0	6,8	6,9
Черноземная	15,4	12,2	12,5	14,0	10,7	11,0
Степная засушливая (юго-восток)	7,7	5,6	6,0	12,2	9,4	11,6
Зона	Последствие, 2-й год			Всего использовано за 3 года		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Нечерноземная	7,7	4,4	4,4	42,7	24,2	24,3
Черноземная	11,2	8,6	9,2	40,6	31,5	32,7
Степная засушливая (юго-восток)	7,0	5,4	6,6	26,9	20,4	24,2

Ю.П. Жуков предлагает следующие коэффициенты использования питательных веществ в действии и последствии (табл. 39).

Таблица 39 - Разностные коэффициенты использования питательных элементов удобрений (%) в действии (1-й год) и последействии (2-4-й годы) на среднеплодородных почвах Центрального Нечерноземья (Жуков, 2002)

Удобрения	Год действия	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Органические	1-й	20-30	30-40	50-60
	2-й	20-25	10-15	15-25
	3-й	10-15	5-10	10-15
	4-й	0-5	0-5	5-0
Всего		50-75	45-70	80-100
Минеральные	1-й	60-75	15-25	60-70
	2-й	5-3	10-15	10-15
	3-й	5-0	5-10	5-10
	4-й	–	0-5	0-5
Всего		70-80	30-60	80-100

В расчетах последействия органических удобрений можно пользоваться данными Д.В. Федоровского. В первый год последействия сельскохозяйственные культуры усваивают из навоза: N – 15%, P₂O₅ – 20%, K₂O – 10%.

По данным Д.В. Федоровского, последействие минеральных удобрений в первый год составляет: N – 10%, P₂O₅ – 15, K₂O – 10% от действия удобрений, внесенных в прошлом году. В последующие годы действие азота и калия очень незначительно, поэтому при обычных дозах удобрений последействие азотных и калийных удобрений не учитывают.

Последействие фосфорных удобрений бывает больше, чем прямое действие, поэтому наряду с органическими удобрениями его необходимо учитывать в расчетах. Последействие удобрений проявляется по-разному в зависимости от почвенно-климатической зоны.

Использование питательных веществ пожнивных и корневых остатков. При возделывании сельскохозяйственных культур в почве остается значительное количество пожнивных и корневых остатков, в которых сосредоточено много элементов питания. Органические вещества этих остатков в результате минерализации переходят в доступное для последующих возделываемых культур состояние. По данным ряда авторов, ко-

личество азота, фосфора, калия, а также других элементов, аккумулированных в пожнивных и корневых остатках, определяется многими условиями и зависит от химического состава, урожайности и от количества пожнивных и корневых остатков той или иной культуры (табл. 40).

Таблица 40 - Количество пожнивных и корневых остатков различных культур и содержание в них основных питательных веществ

Культура	Урожайность основной продукции, т/га	Количество сухих корневых и пожнивных остатков в пахотном слое почвы, т/га	Содержание в корневых и пожнивных остатках						
			кг/га			кг/т урожая			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Клевер на сено:									
1-го года пользования	2,0	3,6	78,0	21,6	36,6	39	10,8	18	
	5,8	7,4	157,6	44,4	63,7	27	6,0	8	
2-го года пользования	3,6	5,0	106,3	30,0	47,3	30	8,0	13	
	5,7	9,1	193,6	54,6	77,9	34	9,6	13	
Горох на зерно	2,7	2,2	40,0	7,6	23,6	16	3	9,4	
Кормовые бобы на зерно	2,7	2,36	42,5	8,0	23,7	16	3	9	
Озимая пшеница на зерно	2,2	2,5	26,5	5,0	14,0	12	2	6	
	4,0	3,2	28,0	7,4	17,5	7	2	4	
Ячмень на зерно	2,0	2,5	22,0	6,0	14,0	11	3	7	
Озимая рожь	2,0	3,01	31,6	6,7	30,7	15,8	3,4	15,3	
	4,0	5,22	53,8	11,5	52,9	13,4	2,9	13,2	
Кукуруза: на зерно	3,0	4,02	77,5	16,8	93,4	28	5,6	31	
на силос	20,0	4,23	78,9	17,9	99,5	4	0,9	5	
Однолетние травы на сено	3,0	3,84	97,7	21,6	65,6	32,5	7,2	22	
Многолетние травы	3,0	4,7	76,6	21,8	92,9	25,5	7,4	31	
	5,0	8,0	123,2	37,2	149,0	16,0	7,7	29	
Картофель	20	2,9	67,0	20,0	49,8	3,3	1,0	2,5	
	30	3,8	89,4	26,1	66,6	2,8	0,87	2,2	
Лен (волокно)	0,5	1,59	8,2	4,6	14,2	31,8	16,4	28,2	
Гречиха	1,0	2,31	27,2	13,0	59,5	27,2	13	59	
	2,0	3,41	42,0	27,0	99,0	21,0	13,5	49,5	
Сахарная свекла	20,0	2,23	23,4	7,8	38,0	11,2	0,39	1,9	
	30,0	2,65	30,0	7,9	31,8	10	0,27	1Д	
Кормовые корнеплоды	20	1,85	19,4	6,5	31,4	0,97	0,32	1,6	
	30	2,35	29,6	7,1	28,4	0,98	0,24	0,94	

Для удобства использования данных по содержанию элементов питания сделан перерасчет количества N, P₂O₅ и K₂O в килограммы на 1 т основной продукции.

Методы определения доз удобрений на основе полевых опытов. Полевые опыты являются основными методами определения доз удобрений. На основе обобщения результатов полевых опытов научно-исследовательские учреждения разрабатывают рекомендации по применению удобрений под сельскохозяйственные культуры на основных типах и разновидностях почв при средних агротехнических фонах зоны. Такие рекомендации по применению удобрений разработаны для всех почвенно-климатических зон и районов страны (табл. 41). В каждом конкретном случае эти дозы нужно корректировать применительно к агрохимическим свойствам почвы, возделываемым культурам и др. (табл. 42).

Таблица 41 - Оптимальные дозы минеральных удобрений (кг/га) под основные сельскохозяйственные культуры

Культура	Зона	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	Нечерноземная	100	90	90
	Лесостепная	85	80	65
	Степная	75	70	50
Кукуруза	Лесостепная	100	80	70
	Степная	80	70	60
Картофель	Нечерноземная	95	90	110
	Лесостепная	90	90	90
	Степная	85	80	70
Силосные культуры	Нечерноземная	100	80	105
	Лесостепная	100	75	80
	Степная	65	60	55
Сахарная свекла	Нечерноземная	145	135	175
	Лесостепная	135	140	150
	Степная	120	120	105

Коэффициенты корректировки для фосфора вводят для всех культур, калия – для культур кальциефобов, а также для бобовых трав, отличающихся высоким потреблением калия в условиях нейтральных и слабокислых почв.

Таблица 42 - Коэффициенты корректировки доз фосфорных (K_p) и калийных (K_k) удобрений с учетом кислотности почв

Удобрение	pH						
	<4,5	4,6-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	6,0-6,5	6,6-7,0	>7
K_p	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8
K_k	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3

Если почвы легкие (песчаные и супесчаные), то средний показатель содержания фосфора по группам увеличивают на 20-25%, а если тяжелые м снижают на эту же величину.

Все эти данные приведены в справочной литературе, и их необходимо использовать при расчете доз удобрений по указанному методу. Корректируют обычно средние дозы фосфорных и калийных удобрений; дозы азотных удобрений оставляют, как правило, без изменений.

В разных почвенно-климатических зонах корректируют дозы удобрений на почвах с различным содержанием питательных веществ. Так, для дерново-подзолистых и серых лесных почв средняя доза принята за единицу и отнесена к группе почв по содержанию подвижных форм соединений фосфора и калия: для зерновых – к почвам с низким, для пропашных – со средним, для овощных культур – с повышенным содержанием. Чтобы определить уточненную дозу удобрений, среднюю рекомендуемую дозу (кг/га) умножают на поправочный коэффициент.

В лесостепной зоне распространены типичные, выщелоченные и оподзоленные черноземы. Наряду с учетом агрохимических свойств почв в этой зоне особое внимание обращают на предшественники, систему обработки почвы и погодные условия.

Для условий Северного Кавказа, где распространены черноземы, за единицу принимают среднюю дозу, рекомендуемую для отдельных культур при среднем содержании в почвах подвижных питательных веществ. Дозы азотных

удобрений в отличие от других зон уточняют в зависимости от содержания нитратов, установленных по нитрификационной способности почв. Этот показатель широко используют для диагностики азотного питания на Северном Кавказе.

На основе обобщения многочисленных результатов полевых опытов, проведенных в последние 30 лет агрохимической службой и научно-исследовательскими учреждениями на основных типах почв с разными агрохимическими показателями, установлены средние уровни урожайности основных культур, по которым рекомендованы дозы отдельных видов удобрений. В итоге этой большой работы разработаны таблицы примерных доз удобрений под основные культуры на почвах с разными агрохимическими показателями в различных почвенно-климатических зонах и регионах РФ.

Балансовые расчетные методы определения доз удобрений. Эти методы основаны на знании выноса питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур и учете коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Многообразие балансовых расчетных методов определения доз удобрений можно объединить в две группы: 1) определение доз удобрений по выносу питательных веществ с планируемым урожаем с применением коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений; 2) определение доз удобрений по возмещению удобрениями выноса с урожаями питательных веществ в зависимости от уровня их содержания в почве. В настоящее время существует много модификаций этого метода. Их можно широко использовать для определения доз удобрений только при большой дифференциации коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений. Необходимо применять коэффициенты отдельно для культур, сортов, разных почв, отдельных видов и форм удобрений.

Ниже приведен пример расчета доз удобрений с учетом коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений как в год действия, так и с учетом последей-

ствия удобрений, внесенных под предшественник. Учитывалось влияние пожнивных и корневых остатков, оставленных при уборке предшествующих культур. Например, на дерново-подзолистой среднесуглинистой среднеокультуренной почве необходимо получить урожайность ячменя 4,0 т/га и картофеля 30,0 т/га; расчет доз минеральных удобрений будет следующий (табл. 43).

Таблица 43 - Расчет доз удобрений под запланированный урожай

Показатель	Ячмень			Картофель		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вывос с урожаем, кг/га	104	40	104	150	45	210
Внесено с навозом (20 т) под предшественник ячменя, кг	100	50	120	–	–	–
Использование в последствии из навоза, кг	10	3,0	18	–	–	–
Внесено с минеральными удобрениями под предшественники, кг	120	120	120	90	90	90
Коэффициент использования из минеральных удобрений в последствии, %	10	15	10	10	15	10
Использование из минеральных удобрений в последствии, кг	12	18	12	9	13,5	10
Накопление в пожнивных и корневых остатках, кг	48	8	24	31	11	26
Коэффициент использования из пожнивных и корневых остатков, %	20	15	25	25	20	50
Использование растениями из пожнивных и корневых остатков, кг	10	1,2	6	7	2	13
Запасы в пахотном слое P ₂ O ₅ и K ₂ O при содержании подвижных соединений фосфора и калия по 10 мг на 100 г, кг	–	300	300	–	300	300
Использование из почвы, кг	–	24	48	–	30	60
Внесено с навозом (50 т), кг	–	–	–	250	125	300
Использование из навоза, кг	–	–	–	45	25	150
Требуется внести с минеральными удобрениями, кг	72	0	20	89	0	–
Коэффициент использования из минеральных удобрений, %	50	–	30	50	–	–
Необходимо внести минеральных удобрений, кг/га	144	–	66	178	–	–

Содержание подвижного фосфора и калия в почве (по методу Кирсанова) по 10 мг/100 г. Под картофель используют среднеразложившийся навоз; из минеральных удобрений – аммиачную селитру, двойной суперфосфат, хлорид калия. Предшественником был ячмень, урожайность которого со-

ставила 3,7 т/га, под него вносили $N_{90}P_{90}K_{90}$. Предшественник ячменя – озимая пшеница, урожайность которой 4,0 т/га, под нее вносили навоз (20 т/га), а также минеральные удобрения ($N_{120}P_{120}K_{120}$).

Под картофель планируют внести 50 т/га навоза. Вначале определяем вынос питательных веществ с урожаем. Для зоны дерново-подзолистых почв каждая тонна зерна ячменя с соответствующей побочной продукцией выносит 26 кг азота, 10 фосфора (P_2O_5) и 26 кг калия (K_2O), картофеля – соответственно 5; 1,5 и 7 кг. Данное количество элементов питания переводим на всю планируемую урожайность. Далее устанавливаем последствие органических удобрений. Известно, что в смешанном навозе содержится 0,5% N, 0,25 – P_2O_5 , 0,6% K_2O . Значит, с 20 т навоза под предшественник ячменя внесено 100 кг N, 50 кг P_2O_5 , 120 кг K_2O . На второй год, согласно данным таблицы 41, ячмень использует соответственно: N – 10 кг, P_2O_5 – 3,0, K_2O – 18 кг. Далее устанавливаем последствие минеральных удобрений. Записываем, сколько было внесено питательных веществ с минеральными удобрениями, затем с помощью коэффициентов использования питательных веществ из минеральных удобрений в последствии узнаем, сколько азота, фосфора и калия может быть использовано растениями.

Учитываем, что одной из важных частей использования питательных веществ растениями являются пожнивные и корневые остатки. Определяем, что на каждую тонну зерна ячменя в пожнивных и корневых остатках остается: N – 12 кг, P_2O_5 – 3, K_2O – 7 кг. При урожае ячменя 3,7 т/га в почве остается 30,7 кг N, 11,1 – P_2O_5 и 25,9 кг K_2O . Узнаем количество накопленных элементов питания предшественником ячменя – озимой пшеницей. Из пожнивных и корневых остатков элементы питания усваиваются примерно так же, как из органических удобрений. Поэтому коэффициенты использования питательных веществ берем применительно к навозу. Так, для ячменя берем коэффициенты по N 20%, P_2O_5

– 15, K_2O – 25%; для картофеля N – 25%, P_2O_5 – 20, K_2O – 50%. Узнаем, сколько могут растения взять азота, фосфора и калия из пожнивных и корневых остатков. Известно, что в 100 г почвы содержится по 10 мг P_2O_5 и K_2O . По таблицам узнаем, что растения ячменя могут использовать из почвы 24 кг, а картофель – 30 кг P_2O_5 , калия – соответственно 48 и 60 кг. С внесением 50 т навоза под картофель вносится 250 кг N , 125 – P_2O_5 и 300 кг K_2O . Растения могут использовать из навоза соответственно N – 45 кг, P_2O_5 – 25 и K_2O – 150 кг. После этих расчетов суммируем показатели питательных веществ, которые могут быть использованы растениями.

По разности между выносом питательных веществ и возможным использованием их в последствии, а также из пожнивных и корневых остатков предшественника и навоза определяем, сколько питательных веществ необходимо внести с минеральными удобрениями.

Произведя соответствующие расчеты, устанавливаем, сколько питательных веществ необходимо внести.

Допустим, что хозяйство применяет из азотных удобрений аммиачную селитру, из фосфорных – двойной суперфосфат, а из калийных – хлорид калия; значит, под ячмень необходимо внести аммиачной селитры 0,42 т/га и хлорид калия – 0,13 т/га, под картофель – 0,54 т/га аммиачной селитры.

Мы вели расчет доз удобрений для двух культур, возделываемых на дерново-подзолистых почвах. Подобные расчеты для культур, возделываемых на других типах почв, производят, используя соответствующие зональные данные.

Определение доз удобрений на прибавку урожая.
Дозу удобрений, кг/га д.в., для получения прибавки урожая рассчитывают по формуле:

$$D = K_1 [B - (OK_0 + PK_{\text{п}} + PK_{\text{р}})] / K_2,$$

где K_1 – поправочный коэффициент в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания; B – вынос элемента питания с прибавкой урожая, кг/га; O – количество элемента питания, внесенное с навозом или другим органическим удобрением, кг/га; K_0 – коэффициент использования элементов питания из органических удобрений, выраженный в

долях от единицы; P – количество соответствующего удобрения, внесенного под предшественники, кг/га; K_n – коэффициент использования элементов питания из удобрений, внесенных под предшественник, выраженный в долях от единицы; P_r – рядковое удобрение, кг/га; K_r – коэффициент использования рядкового удобрения; K_2 – коэффициент использования основного удобрения.

Определение доз удобрений с применением балансовых коэффициентов использования питательных элементов. Определить дозу удобрений данным методом можно, используя следующую формулу:

$$D = (B - OK_1) / K_2,$$

где D – доза действующего вещества, кг/га; B – вынос элемента питания с плановым урожаем, кг/га; O – органическое удобрение и удобрение предшественника, кг/га д.в.; K_1 – балансовый дифференцированный в зависимости от эффективного плодородия почвы коэффициент использования элемента питания органического удобрения или удобрения предшественника, выраженный в долях от единицы; K_2 – балансовый коэффициент использования элемента питания в среднем за ротацию, выраженный в долях от единицы.

Определение доз удобрений по возмещению удобрениями выноса с урожаями питательных веществ в зависимости от содержания их в почве. В последние годы при определении потребности в минеральных удобрениях широко используют принцип разного возмещения удобрениями выноса с урожаями питательных веществ в зависимости от содержания их в почве. В таблице 44 приведены дозы внесения азота. Как видно из данных таблицы, на малоплодородных супесчаных дерново-подзолистых почвах азотные удобрения под зерновые и пропашные культуры следует вносить в дозах, превышающих вынос. На таких почвах растения особенно сильно нуждаются в азоте, так как запасы гумуса в почвах небольшие, а потери азота при вымывании его подвижных соединений за пределы корнеобитаемого слоя значительны. Вынос азота с урожаями всех культур следует возмещать полностью, за исключением выноса с урожаями бобовых на суглинистых дерново-подзолистых и орошаемых почвах, а пропашных – на серых лесных и оподзоленных черноземах. На более плодородных мощных и типичных черноземах высокие урожаи полевых культур можно полу-

чать при неполном возмещении выноса азота с внесенными удобрениями.

Таблица 44 - Дозы внесения азота под основные сельскохозяйственные культуры

Почва	Дозы внесения азота, % от выноса с урожаем		
	под зерновые	под пропашные	под сеяные злаковые травы
Дерново-подзолистые:			
супесчаные	150	150	100
суглинистые	100	120	100
Серые лесные и черноземы оподзоленные	80	100	80
Черноземы выщелоченные европейской части РФ	60	80	50
Черноземы типичные и обыкновенные европейской части РФ	50	60	30
Сероземы, темно-каштановые и каштановые (при орошении)	100	100	70

При низком и очень низком содержании подвижного фосфора во всех почвах, кроме южных черноземов и каштановых почв без применения орошения, фосфорные удобрения целесообразно вносить в дозах, превышающих вынос фосфора с урожаем. Для поддержания в большинстве почв среднего уровня подвижного фосфора фосфорные удобрения следует вносить в дозах, полностью покрывающих вынос его с урожаем. На почвах, хорошо обеспеченных фосфором, при ограниченных ресурсах фосфорных удобрений вынос фосфора с урожаем можно возмещать лишь частично. Полностью или с некоторым превышением необходимо возмещать вынос калия с урожаем лишь при низком содержании подвижных его форм в почве (супесчаной, серой лесной и черноземах оподзоленных) и при среднем содержании. На почвах, более обеспеченных обменным калием, калийные удобрения можно вносить в дозах меньших, чем вынос калия с урожаем (табл. 45).

экономическую эффективность удобрений; 4) прогнозировать урожайность; 5) разработать нормативы при составлении планов распределения удобрений.

При разработке рекомендаций по применению удобрений широко используют математические методы и ЭВМ. Разработкой моделей для определения потребности и распределения удобрений с использованием ЭВМ занимается ВНИИ агрохимии и агропочвоведения. Для определения потребности сельскохозяйственных предприятий в удобрениях разработаны программы расчетов «Радоз-3», ПРАУД и др., для которых используют следующую информацию:

1) дозы удобрений под культуры в зависимости от планируемой урожайности, типа почв, их гранулометрического состава и содержания подвижных форм фосфора и калия;

2) параметры изменения урожайности в зависимости от кислотности почвы;

3) параметры корректировки доз минеральных удобрений в зависимости от свойств и удобренности предшественника;

4) параметры корректировки доз минеральных удобрений в зависимости от сортовых особенностей возделываемых культур;

5) параметры корректировки доз минеральных удобрений в зависимости от эродированности почв.

Разработанная модель предусматривает выдачу рекомендаций по следующим показателям:

1) рациональные дозы органических и минеральных удобрений в расчете на планируемый урожай в зависимости от свойств почв и других факторов для каждого поля (участка);

2) сроки и способы внесения удобрений;

3) общее количество удобрений по видам в целом по хозяйству;

4) дополнительное распределение органических и минеральных удобрений, имеющихся в хозяйстве свыше рассчитанной потребности, с целью выравнивания плодородия почв и повышения качества сельскохозяйственной продукции.

Одним из вариантов таких программ является метод определения доз удобрений, предложенный Всероссийским НИИ химической мелиорации почв. Требующуюся для составления доз удобрений информацию о генетической принадлежности почв, их гранулометрическом составе, содержании гумуса, подвижных соединениях фосфора, калия, отдельных микроэлементов, обменных форм кальция и магния, а также о почвенной реакции, мелиорированности и эродированности земель по каждому полю или отдельному большому контуру сводят в паспортную ведомость, кодируют и переносят на машинные носители.

Из совокупности сведений в институте формируют автоматизированную базу данных (АБД) практически всех сельскохозяйственных угодий северо-западного района. Ее наличие исключает необходимость пользования другими источниками информации (почвенной и мелиоративной картами, картограммами кислотности, содержания в почвах подвижных соединений фосфора и калия, гумуса). Информацию обновляют после каждого агрохимического обследования, сохраняя в архиве данные, полученные в предшествующие периоды. Рекомендованные дозы удобрений выдает блок нормативно-справочной информации (НСИ), который является составной частью АБД.

Дозы удобрений под планируемый урожай определяют согласно принципиальной схеме разработки на ЭВМ (рис. 1).

После введения в ЭВМ сведений о размещении культур по полям или участкам по программе БОНИТЕТ проводят оценку плодородия почв в баллах бонитета. Необходимые для этого данные поступают из АБД и блока НСИ.

Следующий этап работы обеспечивают, используя программу ЦЕНА, с помощью которой для соответствующего уровня агротехники с учетом балла бонитета рассчитывают урожай. Сведения о планируемом урожае фиксируются в памяти ЭВМ и служат исходной информацией для получения из НСИ рекомендуемых доз удобрений, способных в данных

почвенно-агрохимических условиях полностью обеспечить потребность в основных элементах питания. Общую потребность корректируют с учетом удобрения предшественника и количества питательных веществ, внесенных с осени.

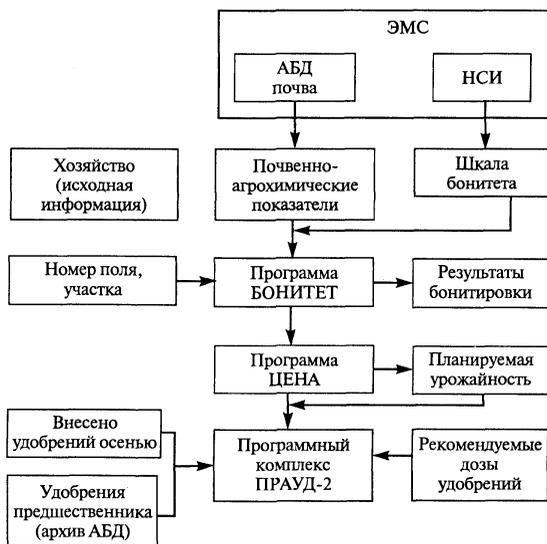


Рис. 1. Разработка на ЭВМ доз минеральных удобрений под планируемую урожайность

Применение микроудобрений. Используют следующие способы внесения микроудобрений: 1) основное – внесение в почву в смеси с другими минеральными удобрениями, в составе комбинированных удобрений и в жидком растворенном виде самостоятельно перед посевом под культивацию или дискование; 2) припосевное – внесение одновременно с посевом комбинированной сеялкой, опудривание, намачивание и опрыскивание семян, введение в состав торфоперегнойных горшочков; 3) подкормки – опрыскивание и опыливание посевов, внесение в почву в смеси с минеральными удобрениями или в составе комбинированных удобрений (табл. 46).

Таблица 46 - Дозы и способы внесения микроудобрений под основные сельскохозяйственные культуры

Культуры	Элемент	Внесение в почву, кг/га		Обработка семян, г/т д. в.	Некорневая подкормка, г/га д. в.
		до посева	при посеве		
Зерновые колосовые	B	–	0,2	30-40	20-30
	Cu	0,5-1,0	0,2	170-180	20-30
	Mn	1,5-3,0	1,5	80-100	15-25
	Zn	1,2-3,0	–	100-150	20-25
	Mo	0,6	0,2	50-60	100-150
Свекла (все виды)	B	0,5-0,8	0,15	120-160	25-35
	Cu	0,8-1,5	0,3	80-120	70
	Mn	2-5	0,5	90-100	20-25
	Zn	1,2-3,0	0,5	140-150	55-65
	Mo	0,5	0,15	100-150	100-200
Зернобобовые	B	0,3-0,5	–	20-40	15-20
	Cu	–	–	120-160	20-25
	Mn	1,5-3,0	–	100-120	–
	Zn	2,5	0,5	80-100	17-22
	Mo	0,3-0,5	0,06	150-160	25-30
Овощные, картофель	B	0,4-0,8	–	100-150	–
	Cu	0,8-1,5	–	–	20-25
	Mn	2-5	–	100-150	–
	Zn	0,7-1,2	–	–	–
	Mo	–	–	80-100	30-150
Лен	B	0,3-0,5	0,1	50-60	5-10
	Cu	1-6	–	100-120	–
	Mn	3,0	–	80-100	30
	Zn	3,5	–	–	–
	Mo	3,0	–	150-160	150-250
Бобовые многолетние травы	B	0,5-0,6	–	20-40	25-35
	Cu	3,0	1,5	150-160	20-35
	Mn	1,5-3,0	–	50-70	–
	Zn	1,3	–	100-120	55-65
	Mo	0,2-0,3	–	100-120	150-250
Злаковые травы	B	0,5-0,6	–	–	25-35
	Cu	0,8-1,5	–	–	25-35
	Zn	0,7-1,2	–	–	55-65
	Mo	0,2-0,3	–	–	150-250

На известкованных почвах обычно снижается доступность растениям бора, меди, кобальта и марганца; признаки голодания растений проявляются даже на ранее хорошо обеспеченных этими элементами почвах. Поэтому внесение данных элементов питания при посеве и в виде подкормки весьма необходимо.

К настоящему времени разработано несколько методов анализа почв, по которым можно судить о степени обеспеченности теми или иными микроэлементами в подвижной и доступной для растений форме.

Исходя из почвенно-климатических условий, требовательности сельскохозяйственных культур к отдельным микроэлементам, уровня применения органических, минеральных и известковых удобрений выбирают поля, культуры, под которые необходимо внести те или иные микроудобрения. Затем, учитывая наличие микроудобрений в хозяйстве и необходимость коренного улучшения плодородия почв в отношении микроэлементов или потребность в применении стимулирующих доз микроудобрений, выбирают способы внесения и определяют приемы и дозы.

Как правило, под одну культуру выбирают лишь один способ и соответствующий прием внесения микроудобрений.

Борное удобрение. На бедных питательными веществами почвах его используют при основном и припосевном внесении, на средних и очень богатых борные удобрения применяют при известковании почв. Наибольшую эффективность борные удобрения оказывают при применении под лен, сахарную свеклу, кормовые корнеплоды, картофель, семенники клевера и люцерны, зернобобовые, овощные, плодово-ягодные культуры.

Молибденовые удобрения. На бедных и кислых почвах их применяют при основном и припосевном внесении, на средних – при припосевном и в виде подкормок, на богатых почвах молибденовые удобрения не вносят. Хорошо отзываются на молибденовые удобрения зернобобовые, бобовые многолетние травы, капуста, морковь, салат, картофель, а также растения на лугах и пастбищах.

Медные удобрения. Необходимо вносить до посева вместе с другими минеральными удобрениями при низкой обеспеченности почв подвижными соединениями меди, при средней обеспеченности лучше проводить обработку семян

медным купоросом и опрыскивать его раствором посева, при высокой обеспеченности можно применять лишь при припосевном внесении. На медные удобрения наиболее отзывчивы ячмень, яровая и озимая пшеница, овес, тимофеевка, канатник, хорошо отзываются просо, подсолнечник, горчица, горох, фасоль, турнепс, свекла и другие культуры, слабо реагируют озимая и яровая рожь, картофель, капуста. Особенно высокую эффективность медные удобрения проявляют при возделывании сельскохозяйственных культур на освоенных торфяных почвах.

Кобальтсодержащие удобрения. На почвах с низкой обеспеченностью кобальтом их применяют при основном и припосевном внесении, на почвах со средней обеспеченностью удобрения вносят при посеве и в подкормку, на почвах с высоким и очень высоким содержанием кобальта кобальтсодержащие удобрения не используют.

Применять удобрения, содержащие кобальт, необходимо под зернобобовые культуры, многолетние травы, зерновые, овощные, корнеплоды, плодово-ягодные насаждения. Слабо отзывается на внесение кобальта картофель.

Марганцевые удобрения. Внесение марганца эффективно при возделывании сельскохозяйственных культур на черноземах и каштановых почвах. В условиях Нечерноземной зоны редко возникает необходимость в применении марганцевых удобрений, так как в почвах содержится высокое количество его подвижных соединений. Хорошо отзываются на внесение марганца в почву сахарная свекла, картофель, зерновые, овощные, конопля, просо, плодово-ягодные насаждения.

Цинковые удобрения. На внесение цинка на нейтральных и слабощелочных почвах (черноземы, каштановые, сероземы) особенно хорошо отзываются плодово-ягодные насаждения, овощные растения и кукуруза.

В соответствии с содержанием подвижных соединений микроэлементов применяют основное и припосевное внесение и подкормки.

4. Основные принципы разработки системы удобрения в севооборотах

Любая система удобрения пригодна для хозяйства только в том случае, если обеспечивает получение плановой урожайности сельскохозяйственных культур с одновременным улучшением плодородия почв. Разработку системы удобрения следует проводить после того, как решена внутрихозяйственная специализация по отделениям и бригадам, разработан баланс кормов, определена структура посевных площадей, разработана система севооборотов, определена плановая урожайность. Важным условием является также обеспеченность хозяйства органическими и минеральными удобрениями.

Непосредственную разработку системы удобрения целесообразно проводить в такой последовательности:

- составление плана известкования кислых почв и плана мелиорации солонцов и солонцеватых почв;

- разработка плана накопления и размещения органических удобрений;

- разработка общей схемы системы и годовых планов применения удобрений. Здесь должны найти отражение следующие мероприятия: определение потребности в удобрениях для всех севооборотов и хозяйства в целом; составление баланса питательных веществ; выявление наиболее рациональных способов и приемов внесения конкретных удобрений в почву; определение годовой потребности в ассортименте удобрений;

- определение экономической эффективности разработанных систем удобрения;

- составление календарного плана применения удобрений для определения потребности в рабочей силе, тракторах, автомобилях, машинах по смешиванию и разбрасыванию удобрений для выполнения годового плана применения удобрений.

Методики составления плана известкования кислых почв, мелиорации солонцов, а также разработки плана накопления и размещения органических удобрений изложены ранее.

При разработке многолетнего плана применения удобрений (системы удобрения) необходимо определить общую потребность в удобрениях для севооборота за ротацию.

Определение общей потребности в удобрениях для севооборота за ротацию. Для определения общей потребности в удобрениях необходимо выбрать наиболее приемлемый метод нахождения доз удобрений, используя который, нужно конкретно для каждого поля (участка) и культур, возделываемых на нем, установить общую потребность удобрений в севообороте за ротацию.

Баланс питательных веществ в севообороте. Баланс питательных веществ – обязательная составная часть системы удобрения. Его рассчитывают для определения возможного обогащения или истощения почвы теми или иными питательными веществами. Положительный баланс элементов питания способствует сохранению плодородия почвы и дальнейшему его повышению.

Для расчета баланса в земледелии необходима система обоснованных нормативных показателей и коэффициентов к объекту исследования. Ценность таких исследований определяется полнотой и точностью поступления питательных веществ, экспериментальной обоснованностью принятых нормативов и коэффициентов использования питательных веществ удобрений сельскохозяйственными культурами, продолжительностью учитываемого периода и выявлением связи баланса с агрохимическими свойствами почвы, правильностью выводов и рекомендаций по совершенствованию сложившейся системы удобрения.

В приходную часть баланса включают следующие источники поступления питательных веществ: минеральные, органические удобрения, растительные, послеуборочные

остатки, посевной и посадочный материал, биологическую фиксацию азота симбиотическими и свободноживущими микроорганизмами, поступление веществ с осадками.

В расходной части учитывают следующие основные статьи: вынос урожаем основной и побочной продукции, вымывание питательных веществ путем инфильтрации и поверхностный смыв, газообразные потери.

Баланс необходимо составлять на протяжении ряда лет, так как данные одного года часто не могут охарактеризовать положение в хозяйстве в целом и по ним нельзя сделать правильные выводы. При расчетах за длительный период (5-10 лет и более) можно оценить участие отдельных статей прихода, сопоставить данные баланса по фосфору и калию с данными изменения содержания этих веществ в почве.

Баланс питательных веществ определяют по поступлению питательных веществ и расходованию их из почвы. Приняты следующие примерные статьи поступления и расходования азота.

Поступление питательных веществ

1. Азот органических удобрений
2. Азот минеральных удобрений
3. Поступление азота с атмосферными осадками (9-12 кг/га)
4. Поступление азота с высеваемыми семенами (около 3 кг/га)
5. Фиксация азота свободноживущими микроорганизмами (7-20 кг/га) в зависимости от окультуренности почв
6. Фиксация атмосферного азота клубеньковыми бактериями: 10-12 кг на 1 т сена бобовых культур

Расходование

1. Вынос с урожаем культур
2. Газообразные потери азота из вносимых минеральных удобрений (20-25%)
3. Газообразные потери почвенного минерализованного азота (12-30 кг/га)
4. Газообразные потери азота органических удобрений (5-10%)
5. Расход азота сорняками (10% от выноса N с урожаем сельскохозяйственных культур)
6. Инфильтрация с атмосферными осадками: на легких почвах Нечерноземной зоны – 16-18 кг/га, на суглинистых – 3, при орошении – 24 кг/га
7. Потери азота при эрозии (15-20 кг/га) на почвах с расчлененными формами рельефа

Количественные показатели приходных и расходных статей баланса азота в различных почвенно-климатических зонах страны будут разными, поэтому при составлении баланса питательных веществ в разработанной системе удобрения необходимо пользоваться данными, полученными

научными учреждениями для конкретной зоны или района.

В приходных статьях по фосфору и калию главную роль отводят внесению этих элементов с минеральными и органическими удобрениями. В расходных учитывают, что наряду с поглощением фосфора и калия возделываемыми культурами значительная их часть теряется при вымывании, смыве за счет эрозионных процессов и т.д.

Принято учитывать следующие потери фосфора и калия. Потери фосфора в результате эрозии достигают 3-5 кг/га в год. Наиболее сильное вымывание калия наблюдается в песчаных, супесчаных и торфяных почвах (11-15 кг на минеральных и около 20 кг на торфяных почвах). На суглинистых почвах с инфильтрующимися водами теряется до 5 кг калия. При эрозионных процессах его потери иногда достигают 100 кг/га.

Подсчитав приходные и расходные статьи, определяют показатель интенсивности баланса, разделив суммарную величину прихода того или иного элемента на величину его суммарного расходования. Этот показатель можно выражать в процентах и в виде коэффициента. Интенсивность может быть меньше 100% (дефицитный баланс), равна 100% (бездефицитный баланс) и больше 100% (положительный баланс); коэффициент может быть меньше единицы, равен ей и больше ее.

Для характеристики круговорота веществ В.Д. Панниковым и С.Н. Юркиным предложен показатель емкости баланса, под которой понимают сумму выноса и возмещения веществ независимо от того, включаются они в круговорот или используются повторно. Емкость – специфический количественный показатель, характеризующий массу веществ, вовлеченных в круговорот, его рассчитывают на всю площадь поля или на 1 га.

Под структурой баланса понимают процент, удельный вес или долевое участие отдельных статей потерь и поступления. Возможно сопоставление размера отчуждения и поступления веществ по севооборотам хозяйства, группам культур и отдельным сельскохозяйственным культурам.

Использование данных баланса питательных веществ для прогнозирования уровня плодородия почв и эффективности удобрений. Балансовые расчеты при разработке систем удобрения позволяют не только планировать урожайность сельскохозяйственных культур, но и правильно определять показатели эффективного плодородия. Исследования проведенные в различных зонах страны в длительных опытах, показали, что систематическое применение навоза, средних и повышенных доз минеральных удобрений приводит к постепенному накоплению питательных веществ.

На дерново-подзолистых почвах положительный баланс основных питательных веществ, по данным В.Г. Минеева и А.И. Горбылевой, в обобщенных опытах при значительном росте продуктивности севооборота (до 4,0-4,5 т/га зерновых единиц) отмечается только при повышенных дозах удобрений, когда ежегодно вносили азота и калия по 100-120 кг/га, фосфора 80-100 кг/га. На серых лесных почвах устойчивый положительный баланс обеспечивался при внесении $N_{80-120}P_{60-80}K_{100-130}$. Положительный баланс на черноземах при получении высоких урожаев всех сельскохозяйственных культур может быть достигнут только при ежегодной насыщенности 1 га пашни минеральными удобрениями – $N_{110}P_{90}K_{100}$.

Баланс фосфора в почве хорошо согласуется с изменением содержания подвижных соединений фосфора под действием фосфорных удобрений. Наиболее четкая связь между балансом фосфора и содержанием подвижных соединений его в почве наблюдается на дерново-подзолистых почвах. Для повышения содержания фосфора на 1 мг P_2O_5 на 100 г почвы (по Кирсанову) требуется внести сверх выноса урожаем на дерново-подзолистых песчаных почвах 40-60 кг/га д. в., на легко- и среднесуглинистых – 60-90; на тяжелосуглинистых и глинистых почвах 90-120, на серых лесных почвах – 60-69 кг/га. На черноземах для повышения содержания подвижных соединений фосфора на 1 мг P_2O_5 на 100 г почвы (по Чирикову) сверх выноса вносят 50-70 кг/га фосфора. На карбонатном чернозе-

ме и каштановых почвах для повышения подвижного фосфора (по Мачигину) требуется внести сверх выноса 90-139 кг/га фосфора, на сероземах – 125-140 кг/га.

На основании рассчитанного баланса фосфора для почв Центрального района Нечерноземной зоны России С.А. Шафран установил следующую компенсацию дополнительно вносимого фосфора сверх выноса на увеличение его в почве на 1 мг/100 г почвы: на глинистых и тяжелосуглинистых почвах – 111 кг/га, на легко- и среднесуглинистых – 82, на песчаных и супесчаных – 57 кг/га.

Для повышения содержания в почве подвижных соединений калия на 1 мг/100 г почвы требуется вносить калия сверх выноса – 40-50 кг д. в. на 1 га.

Прогнозируемое содержание подвижных соединений фосфора или другого элемента питания в почве можно рассчитать по формуле:

$$\text{Спр} = \text{Сисх} + (\text{Пмин} + \text{Порг}) \times \text{В} / \text{Н},$$

где Спр – прогнозируемое содержание питательных веществ, мг/100 г почвы; Сисх – исходное содержание питательных веществ, мг/100 г почвы; Пмин – поступление питательных веществ с минеральными удобрениями, кг/га; Порг – поступление питательных веществ с органическими удобрениями, кг/га; В – вынос питательных веществ с урожаем, кг/га; Н – доза расхода питательного элемента, внесенного сверх выноса, на увеличение его содержания на 1 мг/100 г.

При расчете потребности в удобрениях можно пользоваться данными интенсивности баланса (коэффициентов восполнения). Для почв с низким уровнем обеспеченности подвижными соединениями фосфора интенсивность фосфора должна быть не менее 200%, со средним уровнем – 150%. При высоком и очень высоком уровнях содержания фосфора интенсивность баланса на почвах легкого гранулометрического состава может быть 80-100%, тяжелого – 40-100%.

Интенсивность баланса калия должна составлять 130-150%. На суглинистых и тяжелосуглинистых почвах внесение калийных удобрений можно проводить один раз в 2-3 года. На почвах легкого гранулометрического состава пополнять запасы калия необходимо ежегодно.

Сроки и способы внесения удобрений. В зависимости от биологических особенностей сельскохозяйственных культур, почвенно-климатических условий зоны существуют различные способы заделки органических и минеральных удобрений.

Допосевное, или основное, внесение удобрений. Предназначено для обеспечения растений элементами питания на протяжении всего вегетационного периода, особенно в период максимального потребления. При основном внесении удобрения (основная часть дозы) в зависимости от почвенно-климатической зоны заделывают плугом с предплужником, дисковыми боронами, культиваторами. В южных районах, где в летний период верхние горизонты почвы пересыхают, минеральные удобрения нужно обязательно заделывать плугом и с осени. В зоне достаточного увлажнения минеральные удобрения можно заделывать плугом при вспашке, при дисковании – дисковыми боронами, при культивации – культиваторами. Часто целесообразно вносить удобрения в два приема. Одни удобрения (фосфорные) можно заделывать осенью под глубокую вспашку, другие (азотные) – перед посевом с заделкой на меньшую глубину.

Локальный способ внесения удобрений завоевывает все более широкую популярность в отдельных районах нашей страны. Он имеет преимущество перед разбросным в том, что предоставляет возможность вносить удобрения до посева, обеспечивая оптимальную глубину заделки их в почве независимо от способов ее обработки. Удобрения можно вносить узкими лентами и широкими полосами в один или несколько слоев. При этом следует учитывать интервал между лентами, глубину расположения удобрения в почве. Ленточное внесение удобрения широко используют под картофель, овощные культуры. Этот способ применяют также при возделывании зерновых культур.

Припосевное (рядковое) внесение. Это такой способ, при котором удобрения вносят непосредственно при посеве или посадке растений. В качестве удобрения используют гранули-

рованный суперфосфат, комплексные и микроудобрения. Внесение удобрений при посеве удовлетворяет растения в питательных веществах в критический период их развития. В то же время необходимо стремиться к тому, чтобы концентрация питательных веществ в зоне проростков была невысокой. Поэтому дозы удобрений при припосевном способе, как правило, небольшие: в пределах 10-20 кг/га д. в. Вносят такие удобрения при посеве семян комбинированными сеялками.

При припосевном способе внесения удобрений для зерновых и кукурузы применяют гранулированный суперфосфат в зависимости от особенностей культуры в количестве 5-15 кг/га д. в. При посеве сахарной свеклы в рядки обычно вносят полное минеральное удобрение – $N_8P_{16}K_8$, посадке картофеля – 20 кг/га д. в. каждого элемента. Для сахарной свеклы и картофеля при припосадочном внесении лучше использовать комплексные удобрения.

Послепосевное внесение удобрений (подкормки). Применяют в период роста (при недостатке в это время питательных веществ в почве) растений. Подкормки широко используют в системе удобрения озимых культур. Азотные удобрения применяют под озимые после схода снега, а также при колошении. Азотная подкормка целесообразна для силосных культур, овощных, кормовых корнеплодов, хлопчатника и др. Ее в этом случае сочетают с междурядной обработкой почвы. Широко распространена некорневая подкормка азотными удобрениями озимой пшеницы в фазе молочной спелости.

Годовые планы применения удобрений. В соответствии с разработанной системой удобрения в хозяйстве ежегодно составляют планы внесения удобрений, которые должны решить следующие задачи:

- при наличии в хозяйстве разработанной системы удобрения по одной схеме определить дозы удобрений для сельскохозяйственных культур на каждом поле севооборота;
- уточнить дозы удобрений при смене культуры на поле;
- откорректировать дозы удобрений в зависимости от

погодных условий предшествующего года;

- откорректировать дозы удобрений при известковании; дозу фосфора после известкования можно снизить, а калия, наоборот, повысить;

- определить основные формы удобрений; в системе указывают только количество питательных веществ, а в плане на основе откорректированной дозы определяют ту или иную форму удобрения;

- определить общую потребность в минеральных и органических удобрениях под культуру;

- определить способы и приемы внесения удобрений;

- распределить удобрения по срокам внесения;

- определить основные машины по внесению и заделке удобрений.

Годовой план внесения удобрений в каждом конкретном хозяйстве составляют по определенной форме.

В плане указывают, какими культурами будут заняты поля, обеспеченность элементами питания и распределение удобрений (в действующем веществе) по культурам и полям.

Дозы удобрений в зависимости от содержания питательных веществ в почве уточняют, используя поправочные коэффициенты или непосредственно зональные рекомендации.

Для разработки календарных планов завозки удобрений составляют календарный план потребности в удобрениях по основным периодам их внесения.

5. Хранение удобрений, машины для внесения удобрений

Основные требования, предъявляемые к хранению минеральных удобрений. При хранении минеральных удобрений в складах нужно стремиться к тому, чтобы снизить потери питательных веществ и сохранить физико-химические и механические свойства удобрений до внесения в почву. В каждом хозяйстве для хранения минеральных удобрений необходимо иметь типовые склады с не протекающей крышей и плотными стенами. Склады по объему должны быть

рассчитаны на прием и одновременное хранение не менее 50 % годового потребления удобрений. Во избежание увлажнения удобрений грунтовыми водами пол в складах должен быть водонепроницаемым – асфальтовым, каменным, цементным или деревянным. Деревянный пол поднимают на некоторую высоту от земли, чтобы изолировать его от почвенной влаги. Стены склада на всю высоту засыпки удобрения покрывают тонким слоем асфальта или битумной смолы. Крыша должна быть деревянная или толевая, но не железная, так как последняя быстро ржавеет и разрушается.

Склад должен иметь двое ворот, расположенных на расстоянии друг от друга, для свободного проезда автомашин и механизмов.

Минеральные удобрения, поступающие в заводской таре, следует аккуратно укладывать в штабеля (большее количество ярусов для гранулированных удобрений, меньшее – для порошковых).

Разные виды и формы удобрений нужно хранить отдельно. Желательно, чтобы насыпь или штабеля удобрений сверху были накрыты полиэтиленовой пленкой или другим материалом. Особые предосторожности надо соблюдать при хранении аммиачной селитры: в одном складе нельзя хранить более 500 т этого удобрения. Отсеки с аммиачной селитрой должны быть отделены от других удобрений противопожарными стенками из кирпичной кладки или железобетона.

Система машин для внесения органических удобрений. Для доставки навоза от животноводческих ферм в хранилища используют различные мобильные транспортные и стационарные средства (тракторные прицепы, самосвалы, навозоразбрасыватели, сани, электрифицированные тележки и др.).

Укладку органических удобрений в хранилища и последующую погрузку их в транспортные средства для разбрасывания производят погрузчиками периодического действия ПЭ-0,8Б, ЭО-2624, ПБ-35 или кран-балками, оборудованными грейферными погрузчиками. При отсутствии спе-

циальных погрузчиков погрузку можно проводить стогометателями СШР-0,5 и СНУ-0,5 и погрузчиками для дорожно-строительных работ Т-157 и Т-107 и др.

В качестве транспортных средств для доставки органических удобрений в поле используют прицепы самосвальные 2ПТС-4М, 2ПТС-6, 1ПТС-9, 3ПТС-1 грузоподъемностью соответственно 4, 6, 9, 12 т и автомобили ГАЗ-93Б, ГАЗ-53Б, ЗИЛ-ММЗ-554М, ЗИЛ-ММЗ-4502. Разбрасывание подстилочного навоза и компостов по полю производят машинами ПТУ-4, РОУ-6М, КСО-9, ПРТ-10-01, ПРТ-16М грузоподъемностью соответственно 4, 5, 9, 10, 16 т.

Для внесения органоминеральных удобрений одновременно с посадкой картофеля используют приспособление АУ-4 к картофелесажалкам СМ-4Б.

При расстоянии от места хранения органических удобрений до поля не более 3 км и при достаточном числе навозоразбрасывателей применяют непрерывно-поточную технологию, при которой органические удобрения транспортируют и вносят навозоразбрасывателями без перевалки. При расстоянии более 3 км действует поточно-перевалочная технология, при которой удобрения заблаговременно доставляют на поле автосамосвалами или тракторными прицепами и укладывают в штабеля массой 60-100 т в зимнее время и 20-40 т в летнее.

Навоз на крупных животноводческих фермах промышленного типа измельчают одновременно с погрузкой погрузчиками НШ-50, НЖН-200 и ПНЖ-250.

Для транспортировки и внесения бесподстилочного навоза на поверхность удобряемого поля используют машину РЖТ-4М, которую агрегируют с тракторами МТЗ-80, МТЗ-82. Вместимость их колеблется от 6 до 15 т, рабочая ширина захвата 9-13 м.

Для удобрительных поливов кормовых культур на мелиоративных полях, где имеются станции и трубопроводная сеть, используют дождевальные установки ДДН-70, ДДН-100, ДД-15, ДД-30 и ДД-50.

Система машин для внесения минеральных удобрений. Внесение минеральных удобрений проводят тремя способами: взброс поверхностно по всей площади поля, местно при посеве (посадке) и в подкормку.

Вывозку и внесение минеральных удобрений целесообразно организовать по следующим технологическим схемам:

1) вывозка удобрений в поле и заправка машин для внесения – автозагрузчиком сеялок УЗСА-40; внесение – туковыми сеялками и разбрасывателями всех типов;

2) вывозка в поле и перегрузка в разбрасыватели – автосамосвалом с предварительным подъемом платформы САЗ-2500 или САЗ-3502; внесение – разбрасывателями 1-РМГ-4, РУМ-8, КСА-3.

Последнюю схему называют прямоточной (бесперевалочной); она наиболее распространена. Применение этой схемы экономически выгодно при вывозке на малые расстояния. Однако при достаточном количестве машин, хорошем состоянии дорог и невысоких дозах удобрений бесперевалочный способ можно использовать и при большой удаленности полей от склада.

Одним из способов, обеспечивающих сохранность минеральных удобрений, является применение для их доставки в затаренном виде специальных прицепов, с которых удобрения легко перегружать в разбрасыватель. Прицеп загружают плетеными контейнерами из полипропилена вместимостью 750 кг минеральных удобрений. На поле удобрения из контейнера перегружают в разбрасыватель телескопическим погрузчиком, который входит в комплекс оборудования прицепа.

Местное рядковое внесение минеральных удобрений проводят одновременно с посевом (посадкой) сельскохозяйственных культур комбинированными сеялками. Корневую подкормку осуществляют одновременно с междурядной обработкой почвы, при этом удобрения заделывают в междурядья пропашных культур. Используют различные культиваторы растениепитатели.

Литература

1. Агрономическая химия: учебное пособие / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, Г.П. Малявко, Д.Г. Кротов. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2015. 139 с.
2. Бабкин В.В. Агрехимический бизнес России: справ. пособие. М., 2003. 444 с.
3. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрехимия: учеб. для вузов. М.: Мир, 2003. 584 с.
4. Духанин Ю.А. Агрехимия, биология и экология песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почв / под ред. В.Г. Минеева. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
5. Агрехимия: учебник для стран СНГ / В.Г. Минеев, В.Г. Сычѳв, Г.П. Гамзиков, А.Х. Шейуджен, Е.В. Агафонов, Н.М. Белоус и др.; под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Воробаев В.Н. Агрехологическое обоснование применения удобрений в земледелии. М.: ЦИНАО, 2003. 232 с.
7. Белоус Н. М., Воробьева Л. А., Белоус И. Н. Оптимальные параметры плодородия почвы для производства нормативно чистой сельскохозяйственной продукции на территориях загрязненных радионуклидами: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. 92 с.
8. Белоус Н.М., Драганская М.Г., Бельченко С.А. Системы удобрений и реабилитация песчаных почв: монография. Брянск, 2010. 224 с.
9. Белоус Н.М., Малявко Г.П., Шаповалов В.Ф. Справочник агрохимика. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. 50 с.
10. Зернобобовые культуры и однолетние бобовые травы: биология и технология возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, И.Я. Моисеенко, О.В. Мельникова. Брянск, 2010. 151 с.
11. Минеев В.Г., Лебедева Л.А. История агрохимии и методологии агрохимических исследований: учеб. пособие для вузов. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2003. 328 с.
12. История развития агрохимических исследований в ВИУА. К 70-летию Всероссийского научно-исследовательского института удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. М.: Агроконсалт, 2001. 400 с.
13. Картофель: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, М.В. Котиков, А.В. Богомаз, О.А. Богомаз. Брянск, 2010. 111 с.

14. Крупяные культуры: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, М.И. Никифоров, А.С. Юдин. Брянск, 2010. 73 с.

15. Кукуруза и сорго: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, А.В. Дронов, В.В. Дьяченко. Брянск, 2010. 128 с.

16. Малявко Г.П., Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф. Агрохимическое обоснование технологий возделывания озимой ржи на юго-западе России: монография. Брянск, 2010. 247 с.

17. Методические рекомендации по производству биологически безопасной продукции овощеводства и цветочной продукции в условиях защищенного грунта / В.Е. Ториков, Н.М. Белоус, С.М. Сычев, И.В. Сычева, О.В. Мельникова, В.М. Рыченкова, А.А. Осипов. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. 118 с.

18. Многолетние бобовые и злаковые травы: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, И.Я. Моисеенко, О.В. Мельникова. Брянск, 2010. 149 с.

19. Озимые зерновые культуры: биология и технологии возделывания: монография / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, Н.С. Шпилёв, О.В. Мельникова, Г.П. Малявко, М.П. Наумова, О.М. Нестеренко, О.М. Михайлов. Брянск, 2010. 138 с.

20. Производство биологически безопасной продукции растениеводства: метод. пособие / В.Е. Ториков, Н.М. Белоус, О.В. Мельникова, Г.П. Малявко, С.А. Бельченко. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2016. 76 с.

21. Эффективность отдельных видов минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры для почв Российской Федерации: нормативы. М.: Росинформагротех, 2003. 388 с.

22. Эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах юго-запада Нечерноземной зоны России: монография / Н.М. Белоус, М.Г. Драганская, И.Н. Белоус, С.А. Бельченко. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2012. 241 с.

23. Яговенко Г.Л., Белоус Н.М., Яговенко Л.Л. Люпин в земледелии центрального региона России: влияние на агрохимические свойства серой лесной почвы и продуктивность севооборотов: монография. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2011. 182 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Известкование кислых почв.....	6
2. Определение потребности хозяйства в органических удобрениях.....	20
3. Определение потребности сельскохозяйственных культур в минеральных удобрениях.....	39
4. Основные принципы разработки системы удобрения в севооборотах.....	69
5. Хранение удобрений, машины для внесения удобрений	77

Учебное пособие

ЧЕСАЛИН Сергей Федорович
СМОЛЬСКИЙ Евгений Владимирович

СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ

Учебно-методическое пособие
для лабораторно-практических занятий студентов,
обучающихся по направлению подготовки
35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 20.02.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,88. Тираж 50 экз. Изд. № 6640.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ