

Е. Н. Белоусова

**Агрохимические основы регулирования
почвенного плодородия**

Учебное пособие



Электронное издание

Красноярск 2022

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Е. Н. Белоусова

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Рекомендовано учебно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» для внутривузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.03 – Агрохимия и агропочвоведение, направленность «Почвенно-экологический мониторинг»

Электронное издание

Красноярск 2022

ББК 40.4я73

Б 43

Рецензенты:

*З. С. Жуков, кандидат сельскохозяйственных наук,
почвовед ФГБУ «Красноярский референтный центр
Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору»*

*Ю. Н. Трубников, доктор сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории космических систем
и технологий ФИЦ КНЦ СО РАН*

Белоусова, Е. Н.
Б 43 **Агрохимические основы регулирования почвенного плодородия** [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е. Н. Белоусова; Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск, 2022. – 135 с.

В учебном пособии отражено содержание основных разделов и методических подходов при разработке системы применения органических и минеральных удобрений в севооборотах. Приводится перечень ситуационных заданий. В приложении даны вспомогательные материалы для расчета уровня планируемой урожайности, выноса питательных веществ с растениеводческой продукцией, оценки обеспеченности почв элементами питания.

Предназначено для студентов магистратуры по направлению подготовки 35.04.03 – Агрохимия и агропочвоведение, направленность «Почвенно-экологический мониторинг».

ББК 40.4я73

© Белоусова Е. Н., 2022

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Модуль 1 Стратегия и тактика воспроизводства гумуса в почвах	6
Лабораторная работа 1. Агроэкологическая оценка почв.....	6
Основные теоретические положения	6
Содержание задания	21
Лабораторная работа 2. Выбор и размещение сельскохозяйственных культур	39
Основные теоретические положения	39
Содержание задания	49
Лабораторная работа 3. Баланс гумуса в севообороте и потребность в органических удобрениях	50
Основные теоретические положения	50
Содержание задания.....	51
Лабораторная работа 4. Накопление, использование органических удобрений и технология их внесения	57
Основные теоретические положения	57
Семинар «Особенности применения органических удобрений»	62
Модуль 2 Научно-методологические основы проектирования системы удобрения	62
Лабораторная работа 5. Прогнозирование потребности культур севооборота в минеральных удобрениях	63
Основные теоретические положения	63
Содержание задания	64
Лабораторная работа 6. Рациональное распределение удобрений в севообороте	67
Основные теоретические положения	67
Содержание задания	86
Лабораторная работа 7. Приемы и технологии внесения органических и минеральных удобрений севооборота и отдельных культур	88
Основные теоретические положения	88
Содержание задания	108
Итоговые тестовые задания	110
Заключение	119
Литература.....	120
Приложение	124

ВВЕДЕНИЕ

Из средств производства основное значение имеют почвенные ресурсы, от состояния которых зависит количество и качество получаемой продукции. Академику В.И. Вернадскому принадлежит замечательная фраза: «Почва – это тончайшая пленка жизни на земле».

Именно почвенные ресурсы оказываются весьма уязвимыми к воздействию неблагоприятного природопользования. Росту негативных тенденций в сбережении российских почв, по мнению Ю.Ф. Лачуги (2014), способствует нерациональная структура посевных площадей, севооборотов. Все больше проявляются почвоутомление и истощение плодородия, ухудшается фитосанитарная обстановка. Сложившаяся ситуация является следствием ведения экстенсивного земледелия, недостаточного восполнения выноса с урожаем питательных элементов из почвы, недопустимо низкого уровня применения органических и минеральных удобрений.

Рациональное использование почвенных ресурсов в целом и земель сельскохозяйственного назначения в частности осложняется системностью допущенных ошибок и диспропорций в процессе аграрных социально-экономических преобразований. Оказывают влияние последствия экспансии иностранных компаний в поставках почвообрабатывающей и оросительной техники. Земельная реформа, осуществляемая в отрасли, не сопровождалась традиционными и современными формами оптимального адаптивно-ландшафтного землеустройства, массовый характер носят проявления неупорядоченного землепользования: чересполосица, вклинивания и т. п.

Результаты агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий, локального агроэкологического мониторинга и длительных полевых опытов Географической сети выявили две основные тенденции в изменении почвенного плодородия:

– медленное, но постоянное уменьшение содержания гумуса, подвижных форм фосфора и обменного калия (скорость этих процессов отличается в разных регионах, но направленность везде отрицательная);

– движение границы кислых почв на юг в зону распространения наиболее ценных в хозяйственном отношении почв – черноземов [Сычев с соавт., 2014].

Возделывание сельскохозяйственных культур в земледельческой зоне Красноярского края производится в условиях рискованного зем-

леделия. Здесь действие природных факторов риска снижает продуктивность растениеводства на 50–70 %, поэтому применение удобрений является огромным резервом регулирования плодородия почв и получения устойчивого урожая.

В последние годы Красноярский край в Сибирском федеральном округе по уровню применения удобрений занимает лидирующее положение, имея самую высокую урожайность зерновых культур, даже по сравнению с такими зерносеющими регионами, как Алтайский край, Новосибирская и Омская области.

По данным Министерства сельского хозяйства Красноярского края, полностью достигнут стартовый уровень применения удобрений. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая во многом зависит и от подбора оптимальных доз. Так, оплата 1 кг д. в. удобрений прибавкой урожая при увеличении дозы с 20 до 90 кг снижается с 10 до 3 кг.

Предлагаемое учебное пособие освещает общие принципы, методические подходы и механизмы расчета ряда показателей по всем направлениям данного курса. Каждая из тем сопровождается теоретическим обоснованием и ситуационными заданиями. В приложении даны вспомогательные справочные материалы. Издание содержит материалы семинарских занятий и итогового тестирования.

Модуль 1 СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ВОСПРОИЗВОДСТВА ГУМУСА В ПОЧВАХ

Лабораторная работа 1. Агроэкологическая оценка почв

Основные теоретические положения

Рациональное использование почв и почвенного покрова в сельскохозяйственном производстве в XXI веке связано с разработкой и освоением адаптивно-ландшафтных систем земледелия [Кирюшин, 2015]. Эта земледельческая парадигма сформировалась на основе опыта освоения зональных систем земледелия во второй половине XX в.

Сельскохозяйственная деятельность должна складываться на основе сохранения социально-природных балансов и их адекватной компенсации при нарушении в агроэкосистеме. Достижение этой цели возможно при освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия, которые направлены на устойчивое функционирование агроэкосистемы. Разработка таких систем опирается на агроэкологическую оценку земель. Агроэкологическая оценка почв земледельческой территории является комплексной агрономической (с учетом требований сельскохозяйственных культур) характеристикой почвенного покрова.

Современное развитие исследований по агроэкологической оценке почв определяется требованиями совершенствования научного обеспечения адаптивно-ландшафтных и точных систем земледелия на локальном уровне (участок, поле, севооборот) с использованием методов почвенно-растительной диагностики. Согласно исследованиям И.И. Ельникова с соавт. (2014), самым доступным методом нормирования изменения свойств почв является метод, основанный на использовании в качестве критерия нормативной базы данных оптимальных концентраций содержания и соотношения химических элементов, поступивших в растения.

Оптимальные величины содержания химических элементов в растении являются физиологической характеристикой растения и мало зависят от почвенно-климатических условий произрастания, так как для нормального роста и плодоношения растение должно содержать совершенно определенную концентрацию элементов, независимо от этих условий. Оптимальный уровень содержания элементов питания в растении при его хорошем росте и урожае является показа-

телем нормы состояния растения [Церлинг, 1978], а, следовательно, и условий произрастания. Это положение обосновывает применение оптимальных уровней содержания химических элементов в растениях в качестве единого критерия, применимого на разных типах почв для оценки их агрохимических свойств.

Особенность решения этой проблемы с использованием метода почвенно-растительной диагностики состоит в наличии возможности оценивать соответствие контролируемых свойств почв требованиям растений не только по количеству, но и по качеству выращиваемых культур. В связи с этим актуально развитие исследований по корректировке существующих обобщенных оценочных критериев по оценке свойств почв.

Задачи *агроэкологической оценки земель* заключаются в том, чтобы идентифицировать агрономически значимые параметры различающихся участков земель (в соответствии с агроэкологическими требованиями сельскохозяйственных культур и агротехнологий), определить ландшафтные связи между ними, особенности энерго- и массопереноса и ландшафтно-геохимические потоки, в пределах которых возможны антропогенные преобразования.

Требования сельскохозяйственных культур сопоставляются с агроэкологическими параметрами первичных земельных участков (элементарных ареалов агроландшафта – ЭАА), на основании чего делают вывод о степени пригодности их для использования под ту или иную культуру. Близкие по условиям возделывания конкретных сельскохозяйственных растений ЭАА объединяются в агроэкологические типы земель, в пределах которых формируются производственные участки.

Агрономическая оценка почв начинается с рассмотрения морфологических признаков, имеющих агрономическое значение.

Принимают во внимание мощность гумусовой части профиля и пахотного слоя; расположение и свойства литологических слоев и почвенных горизонтов, особенно обладающих неблагоприятными свойствами – переуплотненных, переувлажненных, оглеенных, солонцеватых, засоленных, сильно отличающихся литологически; отмечается наличие плужной подошвы и др.

Гранулометрический (механический) состав почв. Роль гранулометрического состава в агрономической оценке почв настолько велика, что первые, теперь уже исторические, классификации почв разрабатывались на его основе, а типы почв приурочивались к опре-

деленным сельскохозяйственным культурам: пшеничные почвы, виноградные и т. п. Помимо отмеченного выше отношения растений к гранулометрическому составу почв, он в значительной мере определяет содержание технологий их возделывания, в особенности выбор обработки почвы, противоэрозионных мероприятий и др. В настоящее время принята единая классификация почв по гранулометрическому составу, в отличие от ранее дифференцированных для различных типов почв.

В таблице 1 представлена разработанная Н.М. Сибирцевым и впоследствии уточненная Н.А. Качинским классификация почв по гранулометрическому составу. Помимо отнесения почвы к той или иной разновидности по гранулометрическому составу в соответствии с этой шкалой, во многих случаях, особенно при установлении степени минимизации почвообработки, важно учитывать соотношение механических элементов разной крупности, в значительной мере предопределяющее структурное состояние почв, потенциальную урожайность.

Таблица 1 – Классификационная шкала по гранулометрическому составу [Качинский, 1958]

Краткое название по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (ЭПЧ <0,01 мм), %, в почвах		
	подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования	солонцов и солонцеватых
Песок:			
– рыхлый	0–5	0–5	0–5
– связный	5–10	5–10	5–10
– супесь	10–20	10–20	10–15
Суглинок:			
– легкий	20–30	20–30	15–20
– средний	30–40	30–45	20–30
– тяжелый	40–50	45–60	30–40
Глина:			
– легкая	50–65	60–75	40–50
– средняя	65–80	75–85	50–65
– тяжелая	>80	>85	>65

Практикой земледелия установлено, что лучшими, с точки зрения гранулометрического состава, являются среднесуглинистые почвы, в которых пропорционально представлены как глинистые, так и песчаные частицы. А глинистые почвы плодородны лишь в том слу-

чае, если они богаты органическим веществом и обладают комковато-зернистой структурой.

Плотность, порозность и структурное состояние почвы. Эти характеристики напрямую определяют агрофизические условия и режимы почв. Адаптация к этим условиям, их регулирование и оптимизация являются важнейшей задачей агротехнологий. Плотность почвы влияет на интенсивность биологических процессов. Как известно, с увеличением плотности чернозема более $1,2 \text{ г/см}^3$ существенно снижаются показатели биологической активности почвы, и особенно резкое их снижение наблюдается при плотности $1,4 \text{ г/см}^3$.

В практике обычно используют плотность почв как критерий выбора обработки почвы, хотя более адекватными показателями являются порозность и структурное состояние. Их использование ограничено в связи с более затратным определением.

Поскольку плотность почвы существенно изменяется в зависимости от гранулометрического состава, для различных его категорий отмечаются различные оптимальные (усредненные) диапазоны плотности для большинства полевых культур (табл. 2).

Таблица 2 – Оптимальные диапазоны плотности, г/см^3
[Бондарев, 1980]

Гранулометрический состав (текстура) почвы	Оптимальный диапазон плотности, г/см	Гранулометрический состав (текстура) почвы	Оптимальный диапазон плотности, г/см
Глинистые и суглинистые	1,0...1,3	Супесчаные	1,20...1,45
Легкосуглинистые	1,10...1,40	Песчаные	1,25...1,60

Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальная плотность суглинистых и глинистых почв составляет $1,0\text{--}1,2 \text{ г/см}^3$. Дальнейшее ее увеличение снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Анализ изученных почв земледельческой территории Красноярского края (табл. 3) свидетельствует о невысоком их уплотнении [Чупрова, Ерохина, 1999]. Сравнительно благоприятные физические свойства серых лесных оподзоленных почв и черноземов обусловлены их хорошим структурным состоянием [Верещенко, 1961; Коляго, 1954] и значительной степенью гумусированности.

Таблица 3 – Плотность сложения почв, г/см³
[Чупрова, Ерохина, 1999]

Глубина, см	Дерново-подзолистая	Серая лесная	Чернозем выщелоченный	Чернозем обыкновенный	Чернозем оподзоленный	Чернозем южный
0–10	1,09	1,16	0,97	1,05	0,9	1,19
10–20	1,36	1,22	1,03	1,08	0,89	1,29
20–30	1,38	1,30	1,12	1,14	1,01	1,30
30–40	1,40	1,34	1,21	1,18	1,06	1,40
40–50	1,40	1,37	1,24	1,20	1,12	1,31
50–60	1,38	1,42	1,29	1,25	1,22	–
60–70	1,36	1,48	1,29	1,28	1,31	1,33
70–80	1,41	1,40	1,31	1,30	1,37	–
80–90	1,41	1,41	1,28	1,28	1,38	1,31
90–100	1,40	1,39	1,30	1,27	1,38	1,41

П.С. Бугаков, В.В. Чупрова (1995) отмечают рыхлое сложение по всему профилю серых лесных почв и черноземов выщелоченных, что связывают с длительным пребыванием этих почв в мерзлом состоянии, растрескиванием почвы и возрастанием пористости. По мнению Ю.П. Вередченко (1961), фактором рыхлости почв Красноярского региона является их периодическое иссушение летом и промерзание зимой.

Для более адекватной оценки сложения почвы используют характеристики общей порозности, порозности агрегата и межагрегатной порозности, а также порозности, заполненной капиллярной влагой и воздухом. Пористость (скважность, порозность) – объем пустот между элементарными частицами, структурными единицами и агрегатами, занятый воздухом или водой. Общая пористость вычисляется по соотношению плотности твердой фазы и плотности сложения по формуле

$$P = 100(1 - d_v/d).$$

В зависимости от величины пор различают капиллярную и некапиллярную пористость. Капиллярная пористость равна объему капиллярных промежутков почвы; некапиллярная – объему крупных пор. Величина капиллярной пористости возрастает по мере увеличе-

ния дисперсности почв, ухудшения ее структурности и микроагрегированности. Сумма обоих видов пористости составляет общую пористость. Наиболее благоприятные условия увлажнения и воздухообеспеченности складываются в почве при соотношении капиллярной и некапиллярной пористости 1:1, т. е. когда пористость аэрации составляет половину общей. Критические значения порозности аэрации наступают при величинах < 10 %, в этих условиях начинают доминировать анаэробные процессы, снижается рост корней большинства сельскохозяйственных растений. Критерии оценки плотности и пористости почв представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка плотности и пористости суглинистых и глинистых почв в вегетационный период [Качинский, 1958]

Плотность почвы, г/см ³	Общая порозность почвы, %	Оценка плотности	Оценка пористости
< 1,0	> 70	Почва вспушена или богата органическим веществом	Избыточно пористая – почва вспушена
1,0...1,1	65...55	Типичные величины для культурной или свежевспаханной почвы	Отличная – культурный пахотный слой
1,1...1,2	55...50	Пашня слабо уплотнена	Хорошая, характерная для окультуренных почв
1,4...1,6	40...35	Типичные величины для подпахотных горизонтов (кроме черноземов)	Чрезмерно низкая – характерна для уплотненных подпахотных и иллювиальных горизонтов
1,6...1,8		Сильно уплотненные иллювиальные горизонты	

Особое значение в оценке агрофизического состояния почв имеет ее структура. Структура почвы – физическое строение почвы на уровне почвенного горизонта, обусловленное размером, формой, количественным соотношением, характером взаимосвязи и расположением как элементарных почвенных частиц, так и состоящих из них агрегатов. Структуру почвы оценивают количественно на основании распределения содержания агрегатов (воздушно-сухих и в воде) по их размерам.

Таблица 5 – Шкала оценки структурного состояния почвы
[Долгов, Бахтин, 1966]

Содержание агрегатов 0,25–10 мм, % к массе		Оценка структурного состояния
Водопрочных	Воздушно-сухих	
>80	>70	Отличное
80–60	70–75	Хорошее
60–40	55–40	Удовлетворительное
40–20	40–20	Неудовлетворительное
<20	<20	Плохое

Агрегаты размерами 10–0,25 мм – самые важные в агрономическом отношении; поэтому их и называют агрономически ценными. Содержание агрономически ценных агрегатов – важнейший показатель ее состояния: чем выше их содержание, тем лучше почва; более крупные почвенные отдельности считают глыбистой частью, а более мелкие – распыленной. Пользуются обычно следующими качественными оценками структуры на основании количества агрегатов именно этого, агрономически ценного, диапазона 10–0,25 мм:

> 60% – отличное агрегатное состояние;

60–40 – хорошее;

< 40% – неудовлетворительное.

Используют также коэффициент структурности ($K_{стр}$):

$$K_{стр} = \sum(10 - 0,25 \text{ мм}) / \sum (\geq 10 \text{ мм} + \leq 0,25 \text{ мм}).$$

Соответственно, и диапазоны $K_{стр}$, используемые для качественной оценки структуры, составляют:

> 1,5 – отличное агрегатное состояние;

1,5–0,67 – хорошее;

< 0,67 – неудовлетворительное

Важнейшими условиями агрономической ценности структуры являются ее водопрочность и пористость (табл. 5). Верхним пределом оптимального содержания водопрочных агрегатов ориентировочно можно считать 75–80 %, поскольку при более высоком содержании водопрочных агрегатов значительно возрастает пористость аэрации и непроизводительный расход влаги на физическое испарение.

Химические и физико-химические свойства почв

Органическое вещество почв. Содержание и запасы органического вещества в почвах традиционно служат основными критериями оценки почвенного плодородия, а в последние годы все больше рассматриваются и с точки зрения экологической устойчивости почв как компонента биосферы. Органическое вещество в большой мере определяет пищевой режим почв, их физические и физико-химические свойства, в особенности поглотительную способность, буферность, структурное состояние, влагоемкость. Гумусовое состояние почв принято характеризовать содержанием гумуса в пахотном слое, запасами в слое 0–100 см, отношением C:N, т. е. обогащенностью азотом, и отношением углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, в соответствии с которым определяется тип гумуса (табл. 6).

Таблица 6 – Показатели гумусного состояния почв
[Гришина, Орлов, 1978]

Признак	Уровень	Предел значения	
Содержание гумуса, %	Очень высокое	>10	
	Высокое	6–10	
	Среднее	4–6	
	Низкое	2–4	
	Очень низкое	<2	
Запасы гумуса в слоях: 0–20, 0–100 см, т/га	Очень высокое	0–20	0–100
	Высокое	>200	>600
	Среднее	150–200	400–600
	Низкое	100–150	200–400
	Очень низкое	50–100	100–200
Обогащенность азотом C:N	Очень высокая	<5	
	Высокая	5–8	
	Средняя	8–11	
	Низкая	11–14	
	Очень низкая	>14	
Тип гумуса $C_{гк} : C_{фк}$	Гуматный	>2	
	Фульватно-гуматный	1–2	
	Гумаино-фульватный	0,5–1	
	Фульватный	<0,5	

Оценка содержания гумуса в почвах дифференцирована в зональном аспекте. Для подзолистых и дерново-подзолистых почв вы-

деляют следующие виды по содержанию гумуса в аккумулятивно-гумусовом горизонте:

- ✓ слабогумусированные – менее 0,5 %,
- ✓ малогумусированные – 0,5–1,5 %,
- ✓ среднегумусированные – 1,5–2,5 %,
- ✓ повышено гумусированные – 2,5–3,5 %,
- ✓ многогумусные – более 3,5 %.

Для черноземов и других темноцветных почв выделяются виды: слабогумусированные – менее 3 %, малогумусированные – 3–5 %, среднегумусированные – 5–7 %, многогумусные – 7–9 %, тучные – более 9 %.

Наиболее целесообразным подходом к выявлению агрономической ценности гумуса и его составляющих можно считать разделение всех органических соединений почвы на две большие части: группу консервативных, устойчивых веществ и группу лабильных соединений. Первая группа объединяет специфические гумусовые вещества, которые характеризуют типовые признаки почв и перечисленные их физико-химические и физические характеристики. Эти вещества участвуют в питании растений в малой степени, но создают для них благоприятную среду. Положительная агрономическая роль консервативных составляющих почвенного гумуса наиболее наглядно проявляется в экстремальных ситуациях: в засушливые периоды, при химическом загрязнении почв. Поэтому наиболее устойчивым оказывается земледелие на почвах с высоким содержанием гумуса.

Вторая группа органических веществ почвы, лабильные компоненты которой непосредственно участвуют в питании сельскохозяйственных растений, формируют водопрочную структуру почвы, служат энергетическим материалом для микроорганизмов, проявляется в агрономическом отношении более отчетливо. По компонентному составу ее подразделяют на легкоразлагаемое органическое вещество (ЛОВ) и лабильные гумусовые вещества (ЛГВ). К легкоразлагаемому органическому веществу относят неразложившиеся остатки растительного и животного происхождения, детрит и органические удобрения. Лабильные гумусовые вещества включают неспецифические органические соединения разнообразной природы, прогуминовые и новообразованные гумусовые вещества, гумусовые вещества, непрочно связанные с минеральной частью почвы.

Дефицит лабильных форм органического вещества в почвах определяет состояние так называемой выпаханности, т. е. резкое ухуд-

шение питательного режима и структурного состояния. Поэтому первоочередное значение приобретают мероприятия, направленные на поддержание в почве определенного количества лабильного органического вещества.

Нормативы оптимального содержания лабильного органического вещества в почвах при различном их использовании должны разрабатываться зональными научными учреждениями.

Емкость катионного обмена является одной из интегральных агрономических и экологических характеристик почв. Емкость катионного обмена в значительной степени обусловлена буферностью почв. С емкостью катионного обмена связывается устойчивость почв к антропогенным воздействиям, в частности, к химическому загрязнению. По возрастающей степени устойчивости к антропогенному воздействию почвы разделяются на четыре группы и выражают мг-экв/100 г почвы:

- ✓ с ЕКО менее 10 – низкая;
- ✓ 10–20 – средняя;
- ✓ 20–40 – высокая;
- ✓ более 40 – очень высокая.

Кислотно-основное состояние обуславливает многие особенности поведения элементов в почве, с ним связаны режимы органического вещества и элементов минерального питания, подвижность соединений (в том числе токсичных для растений). Реакция почвенного раствора оказывает и прямое действие на культуры.

Таблица 7 – Уровни кислотности и щелочности почв

pH_{H_2O}	pH_{KCl}	Оценка
<5,0	<4,0	Очень сильнокислая
5,1–5,5	4,1–4,5	Сильнокислая
5,6–6,0	4,6–5,0	Среднекислая
6,1–6,5	5,1–5,5	Слабокислая
6,6–7,3	5,6–6,0	Нейтральная
7,4–7,9	>6,0	Слабощелочная
8,0–8,5	–	Среднещелочная
8,6–9,0	–	Сильнощелочная
>9,0	–	Очень сильнощелочная

Потенциальная кислотность связана с твердыми фазами почвы и проявляется только при взаимодействии почвы с солевыми раство-

рами. В составе потенциальной кислотности различают обменную кислотность, определяемую при взаимодействии почвы с раствором нейтральной соли и гидролитическую, определяемую при действии на почву гидролитически щелочной соли. Гидролитическая кислотность почвы является скрытой и показывает почти полную потенциальную кислотность почвы.

Важным показателем необходимости известкования является наличие и величина обменной кислотности. Обменная кислотность своим происхождением обязана совместному наличию в почвах ионов водорода и алюминия, которые находятся в поглощенном состоянии, и представляет собой небольшую, но наиболее опасную часть почвенной кислотности. Она наблюдается в почвах, в которых процесс выщелачивания оснований осуществляется весьма интенсивно и почва нуждается во внесении извести.

Таким образом, общее представление об обменной кислотности можно получить, определяя рН солевой вытяжки (pH_{KCl}). Установлено:

- что при $pH_{KCl} < 4,5$ почва *сильно нуждается в известковании*;
- pH_{KCl} от 4,5 до 5,5 – *средняя нуждаемость*;
- $pH_{KCl} > 5,5$ – известкование становится *ненужным*.

Степень кислотности почвы – важный, но не единственный показатель, характеризующий потребность почв в известковании. Наиболее надежно необходимость известкования диагностируется по величине степени насыщенности основаниями ($V, \%$):

$$V, \% = S \cdot 100 / S + H_{\Gamma},$$

где S – сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г почвы;

H_{Γ} – величина гидролитической кислотности, ммоль/100 г почвы. Потребность почв в известковании в зависимости от их насыщенности основаниями, установленная эмпирически, выражается следующей шкалой [Возбуцкая, 1968].

Почвы, у которых:

$V < 50 \%$ сильно нуждаются в известковании;

$V = 51-70 \%$ – в средней степени нуждаются во внесении извести;

$V > 80\%$ – не нуждаются в известковании.

При известковании необходимо учитывать биологические особенности сельскохозяйственных культур. По отношению к реакции среды растения могут быть сгруппированы следующим образом.

К *первой* группе относят культуры, характеризующиеся очень высокой чувствительностью к кислой реакции среды почв. Они хо-

рошо растут только при нейтральной или слабощелочной реакции и характеризуются высокой отзывчивостью на их известкование – это люцерна, эспарцет, клевер, сахарная и столовая свекла.

Во *вторую* группу входят культуры, отличающиеся умеренной чувствительностью к кислотности почв (произрастают при слабокислой или нейтральной реакции) и хорошо отзываются на известкование – яровая пшеница, кукуруза, соя, фасоль, горох, подсолнечник, лук.

К *третьей* группе относят растения, удовлетворительно растущие в широком интервале рН – слабочувствительные к кислотности почв (рожь, овес, просо, гречиха, тимофеевка). Они положительно реагируют на применение высоких доз извести.

Четвертую группу составляют культуры:

- а) не переносящие избытка кальция в почве – лен;
- б) удовлетворительно переносящие кислотность почв и не нуждающиеся в известковании – картофель.

По отношению к реакции среды почв различают не только виды растений, но и разные сорта одного вида. Наивысшей отзывчивостью на известкование отличаются сорта, выведенные на почвах, имеющих нейтральную и щелочную среду.

Агроэкологические условия растений, произрастающих на кислых почвах, во многом определяются в них отдельными кислотоопределяющими элементами.

Расчет дозы извести

При проведении известкования очень важно установить оптимальную дозу извести в соответствии с особенностями почвы и возделываемых растений. Расчет дозы извести, необходимой для нейтрализации почвы, зависит от величины гидролитической кислотности, выраженной в мг-экв на 100 г почвы. Дозу извести вычисляют по формуле

$$\text{CaCO}_3 (\text{т/га}) = \text{H}_Г \cdot 0,05 \cdot d \cdot h,$$

- где $\text{H}_Г$ – величина гидролитической кислотности, ммоль /100 г почвы;
0,05 – количество извести в граммах, соответствующее 1 ммоль почвенной кислотности;
 h – высота мелиорируемого слоя, см;
 d – плотность сложения мелиорируемого слоя, г/см³.

Устанавливая дозу извести, учитывают гранулометрический состав почвы, биологические особенности растений и степень нужды почвы в известковании.

При *сильной нужды* применяют полную расчетную дозу извести; при *средней* – 1/2 или 3/4; при *слабой* – 1/3 или 1/4 дозы.

Кроме того, учитывают отношение культур к известкованию и гранулометрический состав почвы.

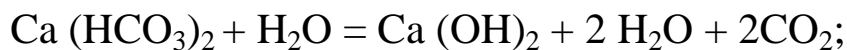
С учетом количества CaCO_3 (%) в известкующем материале (см. табл. П.1), содержания частиц > 1 мм (П, %) и влаги (W, %) рассчитывается физическая доза извести (M, т/га) по формуле

$$M = \text{CaCO}_3 \cdot 10^6 / \text{CaCO}_3, \% \cdot (100 - \text{П}) \cdot (100 - \text{W}).$$

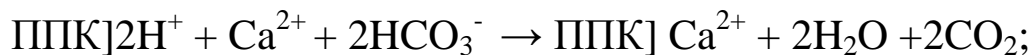
Основное известковое удобрение – известняк CaCO_3 практически нерастворимо в воде, однако под влиянием содержащейся в почвенном растворе углекислоты карбонат кальция постепенно превращается в растворимый бикарбонат кальция:



Бикарбонат кальция диссоциирует на ионы Ca^{2+} и 2HCO_3^- и частично подвергается гидролизу:



В почвенном растворе, содержащем бикарбонат кальция, повышается концентрация ионов Ca^{2+} и OH^- . Катионы кальция вытесняют ионы водорода из почвенного поглощающего комплекса, и кислотность нейтрализуется:



Определение потребности почвы в гипсовании

Потребность почв в гипсовании устанавливают по степени их солонцеватости, которая обусловлена долей обменного натрия (Na) от общего количества обменных катионов (ЕКО). Расчет ведется по формуле

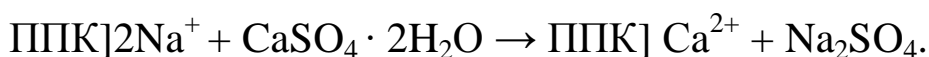
$$\text{Na}, \% = (\text{Na} / \text{ЕКО}) \cdot 100.$$

Полученные результаты оценивают по таблице 8. В гипсовании нуждаются почвы, содержащие более 10 % Na от емкости катионного обмена.

Таблица 8 – Градации почв по степени солонцеватости

Содержание обменного Na, в % от ЕКО		Степень солонцеватости почв
малогумусные – до 5% гумуса	высогумусные – 6–10% гумуса	
<3	<5	Несолонцеватые
3–5	5–10	Слабосолонцеватые
5–10	10–15	Среднесолонцеватые
10–15	15–20	Сильносолонцеватые
>15	>20	Солонцы

Коренным способом улучшения этих почв является их гипсование, т. е. внесение в почву в качестве мелиорирующего средства – гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Теоретическое обоснование гипсования солонцов было дано в работах академика К.К. Гедройца. При внесении в почву гипса в почвенном растворе устраняется сода, поглощенный натрий вытесняется и замещается кальцием с образованием хорошо растворимой нейтральной соли – сульфата натрия:



Таким образом, данный прием устраняет щелочную реакцию солонцовой почвы.

Расчет дозы гипса

Дозу гипса устанавливают по содержанию обменного натрия и определяют по формуле

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,086 (\text{Na} - 0,1 \cdot \text{ЕКО}) \cdot h \cdot d,$$

где Na – содержание в почве обменного натрия, мг-экв. на 100 г почвы;
 0,1 · ЕКО – количество натрия (свыше 10%), на которое гипс не вносится, мг-экв. на 100 г почвы;
 0,086 – эквивалентная масса гипса, мг;
 h – высота мелиорируемого слоя, см;
 d – плотность сложения мелиорируемого слоя, г/см³.

С учетом количества $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (%) в мелиоранте (М, т/га), содержание частиц крупнее 1 мм (П,%) и влаги (W%) физическую дозу гипса рассчитывают по формуле

$$M = \text{CaSO}_4 \cdot 10^6 / \text{CaSO}_4, \% \cdot (100 - \text{П}) \cdot (100 - \text{W}).$$

Непременным условием успешной мелиорации является удаление побочных продуктов реакции гипсования (Na_2SO_4) из корнеобитаемых горизонтов почвы во избежание ее вторичного засоления, а это достигается при достаточном естественном увлажнении. Поэтому гипсование целесообразно сочетать с мероприятиями, усиливающими промывание почвы (снегозадержание, дренирование), особенно эффективно оно в условиях орошения, которое способствует удалению натриевых солей из почвенной толщи и предотвращает возможность вторичного осолонцевания или засоления почвы. Мелиорирующее действие гипса зависит от степени перемешивания его с почвой. Поэтому гипс обязательно заделывают под глубокую зяблевую вспашку, чтобы солонцовый горизонт лучше перемешать с ним и верхним надсолонцовым горизонтом. Причем способы внесения гипса зависят от глубины залегания солонцового горизонта. Экономически целесообразной считается доза гипса, не превышающая 3–5 г/га в зависимости от степени солонцеватости и возделываемых культур.

Негативное влияние повышенной кислотности на растения проявляется через повышенную концентрацию токсичных для растений ионов H^+ , Al_3^+ , недостаток кальция, изменение доступности для растений элементов питания, ухудшение физических свойств почвы, снижение ее биологической активности.

В кислых почвах увеличивается растворимость соединений Fe, Mn, Al, B, Cu, Zn, избыток которых отрицательно влияет на растения. Высокая кислотность снижает доступность молибдена. Усвояемость фосфора максимальна при pH 6,5, в более кислой и более щелочной среде она снижается. Кислая среда ухудшает азотный режим почвы, угнетая процессы аммонификации, нитрификации, азотфиксации. Для этих процессов оптимум pH лежит в интервале 6,5...8,0. Особо негативную роль в кислых почвах играет алюминий. При pH 4 содержание алюминия в почвенных растворах достигает токсичных концентраций для большинства растений, в то время как растворы с pH 4 не имеют такого действия. Близкие эффекты при низких pH оказывает марганец.

На щелочных почвах ухудшается фосфатный режим, возникает

дефицит некоторых микроэлементов (Zn, Fe, Mn, Cu). При высокой щелочности возрастает растворимость гумусовых веществ и ухудшаются физические свойства почв. Сильнощелочная реакция неблагоприятна для большинства растений.

Содержание задания

Материалы и оборудование: рабочая тетрадь, учебное пособие, калькулятор, карточки-задания.

Для детальной агрономической оценки почв территории необходимо учитывать ряд свойств и особенностей их генезиса, которые определяют степень выраженности плодородия почв, т. е. условия их **водно-воздушного, теплового, пищевого и других режимов**. Основными показателями почв, на учете и оценке которых строится их агрономическая характеристика, являются следующие: гранулометрический (механический) состав почвы; содержание и запасы гумуса; физико-химические свойства (поглотительная способность); физические и водные свойства; степень эродированности, заболоченности* (если наблюдаются).

1. Определите основное название сравниваемых почв по гранулометрическому составу (по данным верхнего горизонта). При обсуждении покажите влияние, которое оказывает это фундаментальное свойство почвы на формирование других свойств и режимов почвы: водные, воздушные, тепловые, питательный режим, поглотительную способность, эрозионную устойчивость и т. д.

2. Рассчитайте величину общей пористости. Оцените плотность сложения и пористость по Н.А. Качинскому, дайте агрономическую оценку общих физических свойств почв.

3. Оцените количество агрономически ценной фракции и коэффициента структурности почв по шкале С.И. Долгова, П.У. Бахтина. Предложите агротехнические мероприятия по регулированию агрофизических свойств почв.

4. Количественные значения содержания гумуса в почве оцените по соответствующим критериям, данным в таблице 6. Рассчитайте запасы гумуса в слое 0–20, 0–100 см.

$$Z_g = \text{Гумус (\%)} \times h \times d,$$

где h – мощность слоя, см;

d – плотность сложения, г/см³.

При анализе этих данных обратите внимание на выявление причин, приведших к изменению содержания гумуса в почве. Предложите тип и глубину обработки почвы под культуры севооборота. Для обоснования анализируемых данных привлекают научную литературу с обязательными ссылками на нее.

5. Среди комплекса свойств почв, оказывающих влияние на условия питательного режима и применение удобрений, важное значение имеют физико-химические свойства: реакция почвы, величина емкости поглощения, степень насыщенности основаниями и буферные свойства.

Используя выданные преподавателем данные, рассчитайте емкость катионного обмена и степень насыщенности почв основаниями. По найденным значениям оцените величину поглотительной способности сравниваемых почв. Проанализируйте и объясните отличия или равноценность значений S , ЕКО и V в зависимости от генезиса рассматриваемых почв и обязательно в зависимости от содержания гумуса, гранулометрического состава, объясните роль коллоидных частиц в величине поглотительной способности почв. Оцените уровень кислотности по рН водной и солевой вытяжек (см. табл. 7).

Установите потребность почвы в известковании по степени насыщенности основаниями (V) и величине обменной кислотности ($pH_{кci}$). Если почва нуждается в известковании, необходимо рассчитать дозу извести с учетом степени нуждаемости в известковании и гранулометрического состава почвы, введя поправочный коэффициент к средней дозе извести ($CaCO_3$, т/га).

Составьте план известкования в зависимости от чувствительности культуры севооборота к реакции среды, указав место внесения (поле севооборота) рассчитанной дозы известкового мелиоранта.

Определите потребность почв в гипсовании. Если почва нуждается в гипсовании, необходимо рассчитать дозу гипса.

6. Дайте оценку обеспеченности почв доступным азотом, учитывая роль предшественника и содержание гумуса (см. табл. П.2).

Определите потребность сельскохозяйственных культур, выращиваемых в севооборотах, в нитратном азоте, пользуясь разработанными градациями (см. табл. П.3). Полученные данные по обеспеченности почвы азотом в севообороте представьте в виде таблицы (табл. 9).

Таблица 9 – Обеспеченность доступным азотом сельскохозяйственных культур севооборота в зависимости от содержания гумуса и предшественников

Код категории, севооборот	Класс по содержанию	Обеспеченность	Примерное содержание N-NO ₃ , мг/кг почвы

Укажите мероприятия, способствующие накоплению азота в почве (введение паров, посев многолетних трав, сидерация, внесение органических и минеральных удобрений и т. д.).

7. На основании данных по содержанию в почве подвижных фосфатов (P₂O₅) и обменного калия (K₂O) проведите анализ обеспеченности почв этими элементами питания по местным градациям (см. табл. П.4–П.5). Результаты оценки обеспеченности почв фосфором и калием представьте в виде таблицы 10, указав метод их определения [Ф.В. Чириков, А.Т.Кирсанов, Б.П. Мачигин].

Таблица 10 – Обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием по методу...

Элемент питания	Содержание, мг/100 г почвы	Обеспеченность для культур севооборота		
		Зерновые, зернобобовые	Пропашные, травы	Картофель, овощи
P ₂ O ₅				
K ₂ O				

В заключение этого раздела по литературным данным и результатам агрохимического обследования почв Красноярского края охарактеризуйте обеспеченность почвы севооборотов микроэлементами.

Задания

Индивидуальные задания сгруппированы согласно природно-климатическому районированию по геоморфологическим округам Красноярского края. Земледельческая часть Красноярского края расположена в сложных геоморфологических условиях.

Здесь выделяется три геоморфологических страны (провинции): Западно-Сибирская равнина, плоскогорья и низменности Восточно-Сибирского плоскогорья, горы и межгорные котловины Южной Си-

бири. Эти физико-геоморфологические страны делятся на провинции, области и округа. Под округом понимается орографически обособленная и относительно однородная по рельефу территория. В пределах земледельческой части Красноярского края выделено 9 геоморфологических округов, находящихся в трех физико-географических странах (табл. 11).

Таблица 11 – Основные климатические показатели
в разных геоморфологических округах Красноярского края
[Крупкин, 2002]

Метеостанция, метеопост	Температура воздуха, ср. годовая	Дата перехода температуры через			Длина периода с температурой, дни		
		0 °С	+ 5 °С	+ 10 °С	>0 °С	>+ 5 °С	>+ 10 °С
1	2	3	4	5	6	7	8
Южно-Минусинский округ							
Каратуз	-0,5	9.04–22.10	27.04–1.10	19.05–11.09	195	156	114
Ермаковское	+ 0,6	7.04–24.10	25.04–1.10	15.05–13.09	199	158	120
Идринское	-1,0	13.04–20.10	27.04–2.10	19.05–10.09	189	157	113
Курагино	-0,4	14.04–20.10	22.04–1.10	20.05–12.09	188	154	114
Краснотуранск	-1,6	13.04–20.10	14.04–1.10	18.05–12.09	189	159	116
Минусинск	+0,3	9.04–20.10	23.04–5.10	15.05–15.09	193	163	122
Чулым-Енисейский округ							
Балахта	-1,5	16.04–16.10	1.05–26.09	26.05–7.09	182	147	103
Легостаево	-0,8	15.04–17.10	1.05–30.09	24.05–8.09	184	151	106
Ужур	-1,2	16.04–15.10	4.05–30.09	26.05–5.09	181	148	101
Крутояр	-0,8	18.04–16.10	5.05–30.09	25.05–8.09	180	147	105
Курбатово	-2,7	19.04–13.10	5.05–26.09	27.05–4.09	176	143	99
Назаровский округ							
Шарыпово	-0,4	14.04–18.10	3.05–5.10	22.05–12.09	186	154	112
Назарово	-0,5	14.04–16.10	1.05–2.10	23.05–8.09	184	153	107
Ачинско-Боготольский округ							
Ачинск	-0,1	14.04–18.10	2.05–2.10	22.05–10.09	186	152	110
Боготол	-0,3	17.04–16.10	5.05–29.09	22.05–10.09	181	146	110
Чернореченская		16.04–17.10	3.05–30.09	24.05–7.09	183	149	105
Тюхтет	-0,1	14.04–17.10	30.04–30.09	23.05–10.09	185	152	109
Б. Улуй	-0,2	15.04–18.10	2.05–1.10	23.05–10.09	185	151	109
Бириллюсы	-1,0	16.4–14.10	1.05–28.09	24.05–9.09	180	149	107
Кеть-Чулым-Енисейский округ							
Чульская МСТ	-1,2	16.04–15.10	3.05–28.09	25.05–7.09	181	147	104
Гойда	-1,7	19.04–13.10	8.05–24.09	28.05–4.09	176	138	98
Енисейск	-1,9	19.04–14.10	8.05–28.09	25.05–8.09	177	142	105
Казачинское	-1,7	18.04–14.10	6.05–28.09	26.05–7.09	178	144	103
Пировское	-1,7	18.04–14.10	7.05–26.09	27.05–6.09	178	141	101
Красноярский округ							
Б.Мурта	-1,3	16.04–16.10	4.05–28.09	25.05–7.09	182	146	104
Сухобузимское	-1,2	15.04–16.10	2.05–29.09	24.05–6.09	183	149	104
Красноярск, оп. ст.	+0,5	11.04–21.10	30.04–2.10	20.05–12.09	192	154	114
Красноярск, Северный	+0,5	7.04–22.10	26.04–1.10	15.05–15.09	197	157	122

Окончание табл. 11

1	2	3	4	5	6	7	8
Канско-Рыбинский округ							
Агинское	-0,3	11.04–29.10	2.05–30.09	22.05–8.09	191	150	108
Канск	-0,8	13.04–17.10	2.05–28.09	20.05–11.09	186	148	113
Солянка	-0,3	15.04–15.10	3.05–30.09	24.05–8.09	182	140	106
Ирбейское	-1,3	15.04–17.10	2.05–28.09	23.05–8.09	184	148	107
Ключи	-0,1	14.04–16.10	5.05–29.09	21.05–10.09	184	146	111
Шало	-0,7	15.04–16.10	4.05–28.09	24.05–5.09	183	146	103
Дзержинское	-1,7	17.04–14.10	7.05–26.09	22.05–8.09	179	141	108
Абан	-1,3	17.04–16.10	6.05–27.09	24.05–9.09	181	143	107
Долгий Мост	-2,0	18.04–19.10	7.05–24.09	25.05–6.09	176	139	103
Уяр	-0,6	13.04–17.10	3.05–29.09	22.05–8.09	180	148	108
Троицкое	-2,6	19.04–12.10	9.05–24.09	25.05–3.09	175	137	100
Чуно-Бирюсинский округ							
Гонда	-2,5	19.04–10.10	9.05–24.09	31.05–2.09	173	137	93
Богучаны	-2,6	19.04–13.10	9.05–26.09	27.05–9.09	176	139	104
Кежда	-4,3	23.04–9.10	11.05–23.10	11.05–5.09	168	134	96
Климино	-3,5	23.04–11.10	10.05–25.09	26.05–8.09	170	137	104
Приангарский округ							
Мотыгино	-2,4	21.04–13.10	11.05–27.09	28.05–7.09	174	138	101

Вариант 1

Агропроизводственная группировка земель (агрolandшафтов)
Канского района, ОАО «Племзавод Красный Маяк»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные, выщелоченные тяжелосуглинистые. Крутизна склона 0...2°
3	Темно-серые лесные тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°
6	Лугово-черноземные, луговые, сильно глееватые, плотные, вязкие, глинистые

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного среднемощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
55	8,5	33,6	–		–		7,0	30	17
Темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы									
29	4,6	31,0	5,7		–		5,8	15,7	23
Лугово-черноземной среднемощной многогумусной среднесуглинистой почвы									
42	9,4	60,6	0,97		–		6,1	7,5	13,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного среднетяжелого среднетяжелосуглинистого						
55	0,9	2,5		66,7	31,5	53
Темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы						
29	1,23	2,45		34,4	65,6	47
Лугово-черноземной среднетяжелой многогумусной среднетяжелосуглинистой почвы						
42	1,17	2,4		82,6	17,4	56,0

Вариант 2

Агропроизводственная группировка земель (агроландшафтов)
Дзержинского района, СПК «Диана»

Код категории	Наименование почв
3	Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°
4	Серые лесные глеевые, черноземы оподзоленные маломощные, эрозионно-опасные. Крутизна склона >5°
5	Черноземы выщелоченные (пыхуны), легкосуглинистые, слабооструктуренные. Крутизна склона >5° (до 8–10°)

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Дерново-слабоподзолистой среднетяжелосуглинистой почвы									
21	3,3	17,1	9,4		–		5,1	5,5	7,1
Серой лесной среднетяжелой среднетяжелосуглинистой почвы									
25–27	5,6	34,6	5,6		–		5,4	12,0	18,0
Чернозема выщелоченного маломощного среднетяжелосуглинистого									
34	8,9	46,0	1,2		–		6,3	25	16,6

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почвы						
21	1,34	2,41		47,0	52,7	55,2
Серой лесной среднемощной среднесуглинистой почвы						
25–27	1,26	2,51		37,0	62,9	61,6
Чернозема выщелоченного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
34	1,05	2,44		74,5	20,2	49,7

Вариант 3

Агропроизводственная группировка земель (агрolandшафтов)
ЗАО «Авдинское» Уярского района

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы выщелоченные, обыкновенные среднесуглинистые. Крутизна склона 0..2°
2	Черноземы обыкновенные, оподзоленные легкосуглинистые, неводопрочной структуры, подверженные эрозии. Крутизна склона 2..3°
3	Светло-серые и серые лесные тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема выщелоченного маломощного тучного среднесуглинистого									
35	10,4	48,2	1,8		–		6,0	12,0	13,0
Чернозема обыкновенного среднемощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
35–50	7,6	43,8	0,7		–		6,5	15,0	16,0
Серой лесной почвы среднемощной тяжелосуглинистой									
27	5,6	34,6	5,6		–		5,4	12,0	18,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема выщелоченного маломощного тучного среднесуглинистого						
35	1,0	2,55		51	47,5	62,0
Чернозема обыкновенного среднемощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
35–50	1,1	2,5		55,6	43,1	41,5
Серой лесной почвы среднемощной тяжелосуглинистой						
27	1,2	2,59		76	21,8	65,0

Вариант 4

Агропроизводственная группировка земель (агроландшафтов)
Большемуртинского района, ООО «АгроЭлита»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы выщелоченные среднесуглинистые, темно-серые лесные тяжелосуглинистые. Крутизна склона 0..2°
2	Черноземы выщелоченные и оподзоленные среднесуглинистые, подверженные водной эрозии. Крутизна склона 2..3°
4	Серые лесные глеевые, черноземы оподзоленные маломощные, эрозионно-опасные. Крутизна склона >5°;

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема выщелоченного среднемощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
32–46	7,1	37	3,2		–		6,0	16	14
Чернозема выщелоченного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
40	8,0	50	2,1		–		6,0	18,1	13,8
Темно-серой лесной легкосуглинистой почвы									
21–50	6,0	26,5	2,5		–		5,7	20	15,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема выщелоченного среднемощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
32–46	1,2	2,55		65,8	25,4	62,6
Чернозема выщелоченного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
40	1,05	2,53		84,8	13,1	56,3
Темно-серой лесной легкосуглинистой почвы						
21–50	1,2	2,46		39,8	64,7	39,8

Вариант 5

Агропроизводственная группировка земель (агрolandшафтов)
Емельяновского района, ЗАО «Частоостровское»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые, не подверженные эрозии. Крутизна склона 0..3°
3	Черноземы выщелоченные, глинистые, не подверженные эрозии. Крутизна склона 3..5°
6	Серые лесные тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного среднемощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
45	7,0	50,0	–		–		6,4	12	40
Чернозема выщелоченного среднегумусного среднемощного тяжелосуглинистого									
40	8,0	49,0	2,1		–		6,0	18,1	13,8
Темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы									
30	5,2	30,0	4,2		–		5,8	22	10

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного среднесуглинистого среднесуглинистого тяжелосуглинистого						
45	1,06	2,5		92,3	0,2	49,1
Чернозема выщелоченного среднесуглинистого среднесуглинистого тяжелосуглинистого						
40	1,26	2,35		90,0	9,5	41,2
Темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы						
30	1,24	2,45		68	23	67,7

Вариант 6

Агропроизводственная группировка земель (агроландшафтов)
Сухобузимского района, ООО «Племзавод Таежный»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы выщелоченные среднесуглинистые. Крутизна склона 0..2°
2	Черноземы обыкновенные легкосуглинистые, неводопроходной структуры, подверженные эрозии. Крутизна склона 2..3°
3	Темно-серые лесные тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Нг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема выщелоченного маломощного среднесуглинистого тяжелосуглинистого									
30–40	8	45	1,8		–		6,2	28	30
Чернозема обыкновенного среднесуглинистого многугумусного тяжелосуглинистого									
45	9,0	42,0	0,3		–		7,1	3,64	5,4
Темно-серой лесной оподзоленной легкосуглинистой почвы									
24	5	25	7,9		–		5,3	12	14

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема выщелоченного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
30–40	0,8	2,44		62,0	34,6	49,7
Чернозема обыкновенного среднесплошного многогумусного тяжелосуглинистого						
45	1,05	2,6		45	53,2	75
Темно-серой лесной оподзоленной легкосуглинистой почвы						
24	1,3	2,55		87,5	8,3	40,7

Вариант 7

Агропроизводственная группировка земель (агрорландшафтов)
Шарыповского района, ЗАО «Авангард»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы выщелоченные среднесуглинистые. Крутизна склона 0..2°
2	Черноземы оподзоленные легкосуглинистые, неводопрочной структуры, подверженные эрозии. Крутизна склона 2..3°
3	Темно-серые лесные тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема выщелоченного среднесплошного среднегумусного среднесуглинистого									
42	6,6	43	2,0		–		6,8	21	20
Чернозема оподзоленного маломощного малогумусного тяжелосуглинистого									
30	4,1	42,0	1,8		–		6,9	24,5	12,0
Темно-серой слабооподзоленной среднесплошной тяжелосуглинистой почвы									
40	7,9	41,3	5,5		–		5,8	10,0	7,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема выщелоченного среднемошного среднегумусного среднесуглинистого						
42	1,03	2,54		65,8	25,4	57,1
Чернозема оподзоленного маломощного малогумусного тяжелосуглинистого						
30	1,1	2,40		93,7	0,3	42,1
Темно-серой слабоподзоленной среднемошной тяжелосуглинистой почвы						
40	1,26	2,43		56,4	42,8	60,0

Вариант 8

Агропроизводственная группировка земель (агрolandшафтов)
Назаровского района, ЗАО «Назаровское»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные, выщелоченные среднесуглинистые. Крутизна склона 0..2°
3	Черноземы выщелоченные, глинистые, не подверженные эрозии. Крутизна склона 3..5°
5	Черноземы выщелоченные (пыхуны), легкосуглинистые, слабо-оструктуренные. Крутизна склона >5° (до 8...10°)

Агрoхимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Нг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного маломощного среднегумусного среднесуглинистого									
26	8,8	41,5	3,1		–		5,8	17	10
Чернозема выщелоченного среднемошного высокогумусного тяжелосуглинистого									
42	12,4	50,2	2,5		–		6,8	14	18
Чернозема выщелоченного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
30	8,9	51	4,5		–		6,9	25	20

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного маломощного среднегумусного среднесуглинистого						
26	1,1	2,44		67,5	32,0	54,3
Чернозема выщелоченного среднемощного высокогумусного тяжелосуглинистого						
42	1,0	2,54		75	23,7	66,7
Чернозема выщелоченного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
30	0,9	2,6		48	50	47,1

Вариант 9

Агропроизводственная группировка земель (агроландшафтов)
Минусинского района, ЗАО «Тагарское»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые, южные, не подверженные эрозии. Крутизна склона 0..3°
2	Черноземы южные и светло-каштановые, неводопроходной структуры, подверженные эрозии. Крутизна склона 2..3°
5	Черноземы обыкновенные солонцеватые легкосуглинистые, слабообструктурные, солонец. Крутизна склона >5° (до 8...10°)

Агрехимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного укороченного малогумусного легкосуглинистого									
23	3,3	24,1	2,4		–		7,9	25,0	3,32
Чернозема южного малогумусного среднемощного тяжелосуглинистого									
29	6,0	37,3	–		1,2		7,0	15,7	23
Чернозема обыкновенного укороченного среднегумусного среднесуглинистого									
23	6,3	46,0	1,7		–		7,3	18,5	13,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного укороченного малогумусного легкосуглинистого						
23	1,3	2,44		64,3	35,0	56,0
Чернозема южного малогумусного среднемощного тяжелосуглинистого						
29	1,26	2,3		59,0	28,4	44,7
Чернозема обыкновенного укороченного среднегумусного среднесуглинистого						
23	1,3	2,4		46,3	53,0	50,0

Вариант 10

Агропроизводственная группировка земель (агроландшафтов)
Ачинского района, ООО «Агросфера»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы выщелоченные, темно-серые лесные среднесуглинистые. Крутизна склона 0..2°;
4	Серые лесные глеевые, черноземы оподзоленные маломощные, эрозионно-опасные. Крутизна склона >5°;
5	Пойменные, луговые, сильно глееватые, плотные, вязкие, глинистые Крутизна склона >5° (до 8...10°)

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема выщелоченного среднегумусного маломощного среднесуглинистого									
35	7,2	41,0	5,9		–		5,2	7,5	12,5
Серой лесной оподзоленной тяжелосуглинистой почвы									
21	3,4	19,4	8,9		–		5,4	14	14
Аллювиальной луговой тяжелосуглинистой почвы									
22	7,4	41,8	3,97		–		6,1	7,5	13,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема выщелоченного среднегумусного маломощного среднесуглинистого						
55	1,2	2,5		87,6	12,3	49,8
Серой лесной оподзоленной тяжелосуглинистой почвы						
29	1,14	2,65		76,4	21,6	47,3
Аллювиальной луговой тяжелосуглинистой почвы						
42	1,4	2,4		52	48	60,0

Вариант 11

Агропроизводственная группировка земель (агрolandшафтов),
Сельскохозяйственный производственный кооператив (колхоз) «Труженик»
Тюхтетского района

Код категории	Наименование почв
1	Дерново-слабо- и среднеподзолистые, дерново-подзолистые оглеенные среднесуглинистые. Крутизна склона 0..2°
4	Серые и темно-серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, эрозионно-опасные. Крутизна склона >5°
6	Болотные торфяные низинные, аллювиально-болотные иловато-торфяные, сильно глееватые, плотные, вязкие, глинистые

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Нг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почвы									
20	2,6	7,6	1,8		–		5,8	8,4	6,8
Темно-серой лесной мощной со вторым гумусовым горизонтом среднесуглинистой почвы									
30	6,8	14,6	10,1		–		5,9	5,5	7,1
Пойменной болотной слабозасоленной почвы									
19	12,9	57,0	–		–		6,1	11,5	8,6

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почвы						
20	1,3	2,48		74,4	25,6	34,4
Темно-серой лесной мощной со вторым гумусовым горизонтом среднесуглинистой почвы						
30	1,01	2,8		48,0	49,3	41,4
Пойменной болотной слабозасоленной почвы						
19	1,48	2,64		44	56	62,0

Вариант 12

Агропроизводственная группировка земель (агрolandшафтов)
Новоселовского района, ЗАО «Светлолобовское»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые. Крутизна склона 0..2°
4	Темно-серые лесные тяжелосуглинистые слабосмытые. Крутизна склонов до 4°
6	Болотные, луговые, лугово-черноземные плотные, вязкие, глинистые

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Нг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
35	6,8	46,0	2,1		–		6,6	8,5	22,0
Серой лесной среднемощной тяжелосуглинистой почвы									
27	4,5	33,0	2,0		–		6,0	21,0	10
Аллювиальной лугово-болотной почвы									
15	9,4	49,6	8,97		–		5,8	12,6	8,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
35	1,04	2,44		62,0	36,2	75,0
Серой лесной среднетощной тяжелосуглинистой почвы						
27	1,26	2,4		68,4	30,8	60,0
Аллювиальной лугово-болотной почвы						
15	1,3	2,6		26,6	73,4	68,0

Вариант 13

Агропроизводственная группировка земель (агроландшафтов)
Минусинского района, ООО «Ничкинское»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые, южные, не подверженные эрозии. Крутизна склона 0..3°
2	Черноземы южные и светло-каштановые, неводопроходной структуры, подверженные эрозии. Крутизна склона 2..3°
4	Темно-каштановые, черноземы обыкновенные солонцеватые тяжелосуглинистые сильноосмытые. Крутизна склона до >5°

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Hг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного среднетощого среднегумусного тяжелосуглинистого									
54	8,63	50,0	2,4		–		7,5	7,7	28,9
Чернозема южного среднегумусного среднетощого тяжелосуглинистого									
29	8,6	43,4	–		–		7,2	15,7	23
Темно-каштановой тяжелосуглинистой почвы									
35	4,76	30,4	–		2,18		7,7	7,5	13,0

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного среднесплошного среднегумусного тяжелосуглинистого						
54	1,25	2,44		84,3	15,4	62,0
Чернозема южного среднегумусного среднесплошного тяжелосуглинистого						
29	1,06	2,49		49,0	51,0	58,4
Темно-каштановой тяжелосуглинистой почвы						
42	1,2	2,65		69,0	30,5	60,6

Вариант 14

Агропроизводственная группировка земель (агрорландшафтов)
Балахтинского района, ООО «Чистопольские нивы»

Код категории	Наименование почв
1	Черноземы обыкновенные, выщелоченные среднесуглинистые. Крутизна склона 0...2°
3	Черноземы выщелоченные, глинистые, не подверженные эрозии. Крутизна склона 3...5°
4	Черноземы обыкновенные солонцеватые тяжелосуглинистые сильноосмытые. Крутизна склона до >5°

Агрохимические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Гумус, %	Мг-экв. / 100 г почвы				V, %	pH _{KCl}	По методу, мг/100 г	
		S	Нг	ЕКО	Na			P ₂ O ₅	K ₂ O
Чернозема обыкновенного среднесплошного тучного тяжелосуглинистого									
45	9,0	42,0	3,1		–		7,1	5,4	15
Чернозема выщелоченного укороченного среднегумусного тяжелосуглинистого									
22	8,8	50,0	3,3		–		6,2	10,6	13,5
Чернозема обыкновенного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого									
36	8,4	36	3,1		–		6,2	13	36

Агрофизические показатели

Глубина гумусового слоя, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Содержание агрономически ценных агрегатов, %	Фракция > 10 мм	Физическая глина (<0,01 мм)
Чернозема обыкновенного среднемощного тучного тяжелосуглинистого						
45	1,1	2,45		86,2	13,7	66,0
Чернозема выщелоченного укороченного среднегумусного тяжелосуглинистого						
22	0,96	2,4		64,0	34,4	73,0
Чернозема обыкновенного маломощного среднегумусного тяжелосуглинистого						
36	1,29	2,4		58,6	41,0	67,0

Лабораторная работа 2. Выбор и размещение сельскохозяйственных культур

Основные теоретические положения

Выбор сельскохозяйственных культур определяется агроэкологическими условиями, хозяйственными и рыночными потребностями и производственно-ресурсным потенциалом товаропроизводителя. Эта задача решается на основе группировки видов земель по агроэкологическим ограничениям возделывания сельскохозяйственных культур.

Из видов земель первой категории, т. е. не имеющих экологических ограничений для конкретной культуры, составляется агроэкологический тип земель, в пределах которого возможно применение высоких агротехнологий без каких-либо специальных мероприятий. Из других категорий земель формируются агроэкологические типы, в пределах которых интенсивное и экологически безопасное возделывание той же культуры возможно при выполнении специальных почвозащитных или мелиоративных мероприятий и специальной организации территории.

Для каждой востребованной на рынке культуры проводится оценка возможности и условий ее возделывания на землях различных категорий.

Дальнейшая задача заключается в формировании в пределах агроэкологических типов земель севооборотных массивов. В севооборот подбирают культуры с близкими агроэкологическими требованиями. Идентификация массивов пригодных для возделывания определенной группы культур легко осуществляется в ГИС-технологиях.

В соответствии с характером природных ограничений пригодности земель для возделывания конкретных культур или групп культур и характером мероприятий по их преодолению или адаптации агроэкологические виды земель ранжируются по шести категориям.

А. Земли, пригодные для интенсивного использования
в земледелии

I категория. Земли, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур без особых ограничений, за исключением управляемых факторов, которые оптимизируются с помощью удобрений и обычных агротехнических мероприятий. Это достаточно однородные контуры черноземных, лугово-черноземных, дерновых, окультуренных дерново-подзолистых и других благополучных почв.

II категория. Земли, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур с ограничениями, которые могут быть преодолены простыми агротехническими, мелиоративными и противоэрозионными мероприятиями. Их подразделяют по категориям «а» и «б».

IIа. С ограничениями, преодолеваемыми с помощью простых агротехнических и культуртехнических мероприятий. Это равнинные ландшафты, не подверженные процессам эрозии и дефляции. В числе ограничивающих факторов преобладают регулируемые (повышенная кислотность, повышенное содержание обменного натрия, умеренная засоленность, недостаточная мощность горизонта $A_{\text{пах}}$, закустаренность).

В числе ограниченно регулируемых факторов могут иметь место умеренная комплексность почвенного покрова, обусловленная микрорельефом, кратковременное переувлажнение, пониженное содержание гумуса. Из нерегулируемых факторов возможно присутствие неконтрастных комбинаций, обусловленных различной литологией почвообразующих пород.

IIб. С ограничениями, преодолеваемыми с помощью агротехнических мелиораций и противоэрозионных (противодефляционных) агротехнических мероприятий. В данную подкатегорию входят земли, которые помимо ограничений, характерных для предыдущих земель, отличаются еще и склонностью к проявлению эрозионных процессов.

Они располагаются в эрозионном рельефе умеренной сложности. Преодоление эрозионных процессов здесь может достигаться с помощью обработки почвы поперек склона; щелевания; бороздования; безотвальной системы обработки почвы с сохранением на поверхности пожнивных остатков, оставлением соломы; полосного размещения культур, паров и многолетних трав и других агротехнических мероприятий при соответствующей противоэрозионной организации территории.

III категория. Земли, пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур с ограничениями, которые могут быть преодолены среднезатратными гидротехническими, химическими, лесными, комплексными мелиорациями. Их делят на три подкатегории.

IIIа. Переувлажненные земли, которые могут быть улучшены путем осушения с помощью относительно простых дренажных устройств.

IIIб. Земли, требующие затратных агротехнических, химических, комбинированных мелиораций. Это солонцовые и другие почвы с плотными горизонтами в различных комплексах. Могут быть улучшены мелиоративными обработками (плантажными, ярусными и др.), сплошной химической или комбинированной мелиорацией (гипсование на фоне плантажа и пр.).

IIIв. Земли, интенсивное использование которых возможно на фоне противоэрозионных гидротехнических и лесомелиоративных мероприятий при контурной организации территории. Эти земли расположены в сложных эрозионных ландшафтах и используются в контурно-мелиоративных системах земледелия.

Б. Земли, пригодные для ограниченной обработки и непригодные для возделывания пропашных культур

IV категория. Земли, малоприспособленные для возделывания сельскохозяйственных культур вследствие неустранимых ограничений по условиям литологии почвообразующих пород, рельефа, мелиоративного состояния и весьма ограниченных возможностей адаптации. Это маломощные почвы с близким залеганием коренных пород, литогенные почвы на каолиновых корках выветривания, на третичных морских монтмориллонитовых глинах и т. д.

V категория. Земли, потенциально пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур после сложных гидротехнических мелиораций. Это болотные, сильно засоленные, аридные почвы, использование которых возможно лишь при создании сложных оросительных или осушительных систем.

В. Земли, непригодные для обработки

VI категория. Земли, непригодные для возделывания из-за неустраняемых ограничений и незначительных возможностей адаптации. Земли балок, верхние их части, примыкающие к пашне, с крутизной склонов 10–15°. Длина линии стока – 1000–1500 м. Травостой изрежен, встречаются промоины. Интенсивность смыва почвы при распашке может достигать 100–150 т/га в год.

VII категория. Земли нижних частей склонов балок крутизной 15–17° и днища балок. Длина линии стока – 1500–2000 м. Потенциальная интенсивность смыва почвы при распашке может достигать 150–т/га и более в год.

Г. Земли, непригодные для использования
под сельскохозяйственные угодья

VIII категория. Балочные склоны крутизной более 8–10°, изрезанные частыми промоинами, расположенные между оврагами глубиной более 10 м, расстояние между оврагами не превышает 150–200 м. Узкие, менее 200–250 м балки с очень крутыми склонами более 17–20°, их днища, являющиеся местом стока талых и ливневых вод, подвергаются размыву.

IX категория. Овраги, не подлежащие выполаживанию, выходы мела, галечника, каменные осыпи, пески и др.

Специализация сельскохозяйственного производства определяет структуру посевных площадей. Но в условиях эрозии почв необходимо оценить почвозащитную роль структуры посевных площадей, так как возделывание некоторых культур может усилить смыв почвы [Заславский, 1987; Система земледелия..., 2015]. Структура посевных площадей на момент землеустройства и по проекту оценивается через средневзвешенную величину коэффициента эрозионной опасности культур (табл. 12).

Таблица 12 – Эрозионная опасность сельскохозяйственных культур

Код культуры	Культура	Критерий эрозионной опасности (K_k)
1	Озимая пшеница	0,40
2	Яровая пшеница	0,50
3	Озимый ячмень	0,40
4	Яровой ячмень	0,50
5	Озимая рожь	0,40
6	Овес	0,50
7	Горох	0,50
8	Гречиха	0,50
9	Рис	0,40
10	Кукуруза на зерно	0,80
11	Кукуруза на силос	0,70
12	Сахарная свекла	0,85
13	Кормовая свекла	0,85
14	Подсолнечник	0,75
15	Соя	0,60
16	Овощи	0,70
17	Картофель	0,75
18	Рапс масличный	0,40
19	Силосные без кукурузы	0,35
20	Однолетние травы, сено	0,35
21	Однолетние травы, зеленая масса	0,35
22	Многолетние травы первого года, сено	0,08
23	Многолетние травы первого года, зеленая масса	0,08
24	Многолетние травы второго года, сено	0,05
25	Многолетние травы второго года, зеленая масса	0,05
26	Черный пар	1,00

Установлено, что при средневзвешенном коэффициенте эрозионной опасности структуры посевов 0,3–0,4 набор культур препятствует развитию эрозии выше допустимых пределов. Если же он больше в заданной структуре посевов, его необходимо довести до указанных пределов. Выполняют это путем увеличения доли культур с низкими коэффициентами эрозионной опасности (озимые, яровые зерновые, многолетние и однолетние травы) за счет уменьшения посевов культур с большими коэффициентами (пропашные культуры). Приведенные коэффициенты эрозионной опасности соответствуют участкам с крутизной склона от 3 до 7–8° (в среднем 6°). На ровной местности опасность смыва при любом составе культур близка к нулю. Поэтому вводится поправка, учитывающая крутизну склонов:

$$K_{kj} = \sum K_k \times i_m^0 / 6,$$

где K_{kj} – коэффициент эрозионной опасности сельскохозяйственных культур с учетом среднего уклона севооборотного массива;
 i_m^0 – средняя крутизна склона по севообороту, град.;
 K_k – стандартный коэффициент эрозионной опасности (см. табл. 12);
 b – количество культур в севообороте.

Установление состава и площадей угодий

Состав и площади угодий устанавливаются с учетом перспектив развития хозяйства, эродированности земель и потенциального проявления процессов эрозии на их территории. Установление проектного состава и площадей угодий производят по производственным подразделениям и хозяйству в целом в соответствии с категориями эрозионно опасных земель.

Под пашню осваивают все пригодные для возделывания сельскохозяйственных культур земли I–V категорий эрозионной опасности.

Отдельные небольшие участки пашни VI категории эрозионной опасности, сильно эродированные, изрезанные оврагами, промоинами, потерявшие гумусовый горизонт, неудобные для применения современной сельскохозяйственной техники, отводят под залужение.

В зависимости от эродированности пашни и длины склонов примерно 2,5–3,0 % пашни предусматривается под лесные полосы, которые будут запроектированы по границам полей, севооборотов, рабочих участков. Под облесение пашня отводится в том случае, если она размещается между оврагами, намечаемыми под облесение, так как перевод ее в пастбища и сенокосы не предотвратит развитие процессов эрозии.

Одним из основных вопросов при проектировании севооборотов на эродированных землях является разработка системы полевых и почвозащитных севооборотов и размещение их в соответствии с категориями эрозионной опасности земель.

На землях, подверженных эрозии, IV, V и частично III категории, где интенсивность смыва может достигать 15–20 т/га, проектируются почвозащитные севообороты с большим удельным весом многолетних трав, коэффициенты эрозионной опасности состава культур в них не должны превышать 0,35–0,40. Возделывание пропашных и яровых культур на этих землях нецелесообразно, так как резко снижается урожайность, и усиливаются процессы эрозии.

Установление площади почвозащитного севооборота производят одновременно с его размещением на территории, с учетом проектирования полей, чтобы неудобные участки нижних частей склонов не дробились проектными границами полей. Количество полей определяется набором культур в севообороте, при этом культуры, занимающие наибольшие площади, могут быть в сборных полях, а пар в целях его защиты от эрозии может быть занятым [Защита почв..., 1981].

Полученный набор культур в севообороте оцениваем в соответствии с данными таблицы 13.

Таблица 13 – Допустимые критерии эрозионной опасности севооборота в зависимости от категорий земель

Код категории земель	Допустимый критерий эрозионной опасности севооборота
1	0,80
2	0,60
3	0,50
4	0,30
5	0,90
6	0,95

Если величина среднего критерия (на севооборот) больше табличного, то составленный нами севооборот не обладает достаточной противоэрозионной устойчивостью. Нужно увеличить долю менее эрозионно-опасных культур. Если фактическая величина равна или меньше табличной, то данный севооборот обладает достаточной эрозионной устойчивостью.

В заключение еще раз оцениваем правильность чередования культур и качество предшественников для основных культур. В случае положительной оценки севооборот считается обладающим почвозащитными свойствами.

Далее определяем процентное соотношение культур, соответствующее агропроизводственной группе земель (табл. 14). При этом в рамках ограничений по соотношению групп культур следует также руководствоваться общепринятыми правилами построения севооборотов.

Дополнительно надо иметь в виду, что севооборот должен быть насыщен почвозащитными культурами и культурами азотфиксаторами в максимально возможной степени. Кроме того, севооборот дол-

жен быть относительно коротким. Это необходимо для того, чтобы культуры-почвоулучшители как можно чаще высевались на данном поле.

Таблица 14 – Допустимые доли групп культур

Код категории земель	Группа культур, %			
	Зерновые и зернобобовые	Пропашные	Многолетние и однолетние травы, черный пар	
1	Без ограничений	Без ограничений	Без ограничений	<12
2	> 50	<30	>20	0
3	> 50	<30	>20	0
4	> 60	<20	>20	0
5	<50	0	> 50	0
6	<50	>30	>20	<12
7	<60	<20	>20	<12

На плодородных пойменных землях проектируют овощные и овощекормовые севообороты. Их размеры определяют планом посева овощных культур, площадью пригодных для них земель и правильным чередованием культур.

Под полевые севообороты, насыщенные пропашными и другими интенсивными культурами, используют основные площади пахотных земель, лучшие по условиям почв и рельефа (в основном I и II категории земель), расположенные крупными и компактными массивами.

Правила проектирования севооборотов

На землях III категории (где смыв почвы свыше 15 тонн), а также землях, относящихся к IV категории, проектируют почвозащитный севооборот, на землях I, II категории – полевые севообороты. При этом для удобства проектирования полей в севооборотных массивах могут встречаться участки земель разных категорий.

При формировании севооборотов учитывают следующие агрономические функции: регулирование режима органического вещества почвы и минеральных элементов питания; поддержание удовлетворительного структурного состояния почвы; регулирование водного

баланса агроценозов; предотвращение процессов эрозии и дефляции; уменьшение засоренности посевов; регулирование фитосанитарного состояния почвы.

Непреодолимым препятствием на пути углубления специализации севооборотов пока что остается почвоутомление вследствие накопления в почве колинов и патогенной микрофлоры. Большинство других сдерживающих факторов может быть преодолено различными средствами, вопрос, однако, в степени их затратности и экологической безопасности.

По отношению к бессменному и повторному выращиванию выделены три группы культур:

- сильно снижающие урожай при повторных посевах (лен-долгунец, сахарная свекла, клевер, горох, люпин, подсолнечник);
- способные при оптимальных агротехнологиях обеспечивать при двух и даже трех повторных посевах высокий урожай (рожь, соя, ячмень, пшеница, овес, рис, картофель, табак);
- способные давать высокие и устойчивые урожаи при повторных посевах в течение нескольких лет (хлопчатник, кукуруза, конопля).

Биологическая необходимость чередования культур вызывается их различным отношением к элементам питания, сорнякам, вредителям и болезням, а также степенью развития корневой системы. В агроценозах сельскохозяйственных культур часто присутствуют специфические сорные растения, поэтому при бессменных посевах создаются благоприятные условия для их накопления. Например, зимующие и озимые сорняки приспособлены к озимым хлебам и многолетним травам, яровые ранние и поздние сорняки – соответственно к яровым и поздним зерновым культурам. Смена культур на поле создает неблагоприятные условия для сорняков. Повторные посевы быстро засоряются, что приводит к значительному снижению урожая и ухудшению его качества. При междурядных обработках посевов пропашных культур уничтожаются сорняки, их вегетативные органы, поэтому поле после пропашных бывает более чистым от сорняков. Повышенная засоренность наблюдается в посевах культур со слабой конкурентной способностью. Растения, обладающие хорошей конкурентной способностью, отличаются быстрым ростом и имеют большую листовую поверхность. Условно полевые культуры делят на три группы:

- с высокой конкурентной способностью (озимые зерновые, многолетние травы, конопля и др.);
- средней (ячмень, овес, подсолнечник, кукуруза, люпин и др.);
- слабой (яровая пшеница, просо, лен, картофель, сахарная свекла, соя).

Севооборот – научно обоснованное чередование культур во времени и пространстве – подчинен определенным правилам:

1. В каждом звене первая культура – улучшающая плодородие, после нее возделывается наиболее ценная для Сибири – яровая пшеница.

2. Лучшие предшественники для яровой пшеницы (по убыванию) – паровое поле, многолетние травы, горох, кукуруза, корнеплоды, однолетние травы.

3. Нельзя два года подряд выращивать яровую пшеницу на одном поле. После нее можно возделывать ячмень, затем овес.

4. Озимую рожь высевают после однолетних трав, донника, убираемых в июле, или пара, так как ее посев необходимо проводить не позднее 25 августа.

5. Поля должны быть равновеликие (допустимое отклонение от среднего размера поля составляет 10–15 % в полевых севооборотах и до 20 % – в почвозащитных).

6. Поля севооборота могут быть сборными, т. е. состоять из нескольких культур, но одного типа, например картофель и кукуруза.

7. Количество полей в севообороте зависит от набора культур.

8. Севообороты выполняют существенную роль в предотвращении эрозионных процессов. От подбора культур по их почвозащитной способности и чувствительности к смывости почв зависит продуктивность пашни и сохранность почвенного покрова. Формирование севооборотов в сложных эрозионных ландшафтах осуществляется с учетом расчлененности территории и крутизны склонов. В условиях, где водная эрозия почвы наиболее интенсивно проявляется в период весеннего снеготаяния, под интенсивные севообороты зернопропашные севообороты и зернопаропропашные севообороты рекомендуется отводить несмытые и слабосмытые черноземы и темно-серые лесные почвы на склонах крутизной до 3°, а на серых и светло-серых лесных почвах – до 2°. На слабо- и среднесмытых черноземах и темно-серых лесных почвах с крутизной склонов 3–5°, серых и светло-серых с уклоном 2–3° вводятся травопольные севообороты. На средне- и сильносмытых черноземах и темно-серых лесных почвах на склонах более 5°,

серых и светло-серых лесных почвах на склонах более 4° следует вводить почвозащитные севообороты, включающие 50 % и более многолетних трав.

9. Наиболее типичные севообороты:

– *почвозащитный*:

- 1) пшеница + многолетние травы;
- 2) многолетние травы;
- 3) многолетние травы;
- 4) многолетние травы;

– *полевой*:

- 1) чистый пар;
- 2) пшеница;
- 3) кукуруза;
- 4) пшеница;
- 5) горох (однолетние травы);
- 6) пшеница;
- 7) ячмень;
- 8) овес.

При размещении севооборотов учитывают рельеф, почву и ее эродированность, размеры и конфигурацию пахотных массивов, предварительное размещение водорегулирующих и других лесных полос.

Материалы и оборудование: рабочая тетрадь, учебное пособие, калькулятор, карточки-задания.

Содержание задания

1. Изучите приемы формирования адаптивных почвозащитных севооборотов для различных агроландшафтов.

2. По данным задания (агропроизводственной группировки почв) составьте полевые и почвозащитные севообороты.

3. Подбор сельскохозяйственных культур для севооборота проводите в соответствии с категориями земель и эрозионной и дефляционной опасности каждой из культур по таблице 12.

4. Рассчитайте средний критерий эрозионной опасности по севообороту и сравните его с данными таблицы 13, сделайте обоснование.

5. Определите процентное соотношение культур, соответствующее агропроизводственной группе земель (см. табл. 14).

Лабораторная работа 3. Баланс гумуса в севообороте и потребность в органических удобрениях

Основные теоретические положения

В основе построения рациональной системы земледелия лежит выбор культур, продукция которых востребована на рынке, и адаптация их возделывания в соответствии с почвенно-климатическими условиями территории и материально-техническими возможностями хозяйства. Адаптация идет при изменении севооборотов, систем обработки почвы, доз удобрений и других средств управления продуктивностью агрофитоценозов.

Исследования И.Н. Шаркова (2010) показывают, что в рамках такой системы земледелия содержание гумуса под влиянием приемов интенсификации продукционного процесса растений увеличивается незначительно – всего лишь на 0,1–0,2 % С. По мнению автора, достигнуть значительного увеличения содержания гумуса в почвах можно только за счет применения специальных мероприятий – внесения мелиоративных доз навоза, торфа или перевода почвы на многие годы в залежь. Однако реализация таких мероприятий будет оправдана только в случае, если увеличение гумусированности явится наиболее эффективным средством улучшения свойств почвы, лимитирующих урожайность культур севооборота. Поэтому решение о применении специальных мероприятий должно обосновываться экономически на основе сопоставления затрат на их осуществление и той выгоды, которую хозяйство получит от повышения урожайности культур или снижения технологических издержек.

Увеличение поступления растительных остатков, не влияя существенно на накопление гумуса, значительно повышает в почве среднегодовую емкость круговорота биогенных элементов, что важно для оптимизации питания ими растений (прежде всего азотом) в условиях с нестабильными гидротермическими условиями. Поэтому в почве с большей емкостью круговорота биогенных элементов обеспеченность ими растений будет более полной, причем процессы высвобождения минеральных соединений и усвоение их растениями будут теснее синхронизированы с характером складывающихся гидротермических условий.

Любые изменения в структуре севооборотов, системах обработки почвы, удобрения приводят к его количественным и качественным изменениям [Новоселов, 2020]. Разработка и совершенствование ме-

тодов контроля и прогнозирования содержания гумуса в почвах сельскохозяйственного назначения является важной научной и практической задачей. Расчет баланса гумуса дает возможность оценить характер изменений его содержания в почве при сложившейся системе земледелия. Знание баланса гумуса в севообороте необходимо для определения потребности в органических удобрениях. Удобрения, повышая продуктивность культур, увеличивают и количество их корневых и пожнивных остатков, а следовательно, возврат органического вещества пожнивными остатками и с органическими удобрениями. Органические удобрения, непосредственно пополняя запасы органического вещества, способны при определенных дозах на разных почвах поддерживать бездефицитный баланс гумуса.

Содержание задания

1. Произведите расчеты и анализ планируемой урожайности сельскохозяйственных культур в севооборотах, учитывая средние запасы продуктивной влаги в почве перед посевом в зависимости от предшествующей культуры, количество выпавших осадков за вегетационный период, а также коэффициенты водопотребления.

Под урожайностью понимают показатель, характеризующий средний сбор каждого вида сельскохозяйственной продукции с единицы площади. Урожайность сельскохозяйственных культур принято определять в расчете на 1 га.

Продуктивность – основной показатель сельскохозяйственного производства. Под продуктивностью понимают относительный показатель объема продукции к ресурсу, которым может являться гектар, единица энергии. Продуктивность выражается в физических и стоимостных единицах. На нее влияет значительное число факторов.

При планировании урожайности следует помнить, что в районах недостаточного увлажнения лимитирующим фактором урожайности сельскохозяйственных культур является в первую очередь почвенная влага. Поэтому, планируя урожайность, необходимо учитывать продуктивные запасы влаги в почве и количество атмосферных осадков за вегетационный период, а также использование влаги растениями.

При таких условиях урожайность определяется согласно формуле

$$O_i = \frac{\hat{E}(\hat{I} \hat{A} + \hat{\Delta I})}{\hat{I}}$$

где K – коэффициент использования влаги культурами при применении удобрений (табл. П.6);

ПВ – запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы, мм (табл. П.7);

АО – атмосферные осадки за вегетационный период (до созревания растений), мм (табл. П.8);

H – расход влаги (норматив затрат) влаги на создание 1ц основной продукции с учетом побочной, мм (табл. П.9).

Планируемая урожайность ($Уп$) рассчитывается для всех культур севооборота.

2. Планируемая прибавка урожая ($Пу$) в условиях Красноярского края при рациональных способах внесения удобрений составляет: в зоне тайги и подтайги – 35 %, лесостепи – 30 %, степи – 25 %. Для расчета прибавки урожая используют пропорцию:

$Уп - 100 \%$,

$Пу - 25-35 \%$ (в зависимости от почвенно-климатической зоны).

3. Для оценки общей продуктивности севооборота и подсчета эффективности системы удобрения используют коэффициенты перевода урожая в зерновые единицы, которые приведены в таблице П.10. Прибавка в зерновых единицах рассчитывается умножением планируемой прибавки (ц с 1 га) на коэффициент перевода в зерновые единицы. Затем рассчитывают суммарную за севооборот прибавку урожая в зерновых единицах.

4. Все результаты следует занести в таблицу 15 и провести анализ изменения величины урожайности полевых, кормовых и овощных культур севооборотов, сформулировать выводы.

Таблица 15 – Продуктивность севооборота

Севооборот	Площадь поля, га	Планируемый урожай, ц/га	Планируемая прибавка, ц/га	Коэффициент перевода в зерновые единицы	Прибавка в зерновых единицах, ц з.е./га
1					
2					
...					
Итого					

На величину урожая различных культур влияет не только количество осадков за вегетационный период, но и характер их распределения: при отсутствии в мае и июне – страдают зерновые, а при

засушливой второй половине лета (июль, август) – пропашные. По мере уменьшения среднегодовой суммы осадков и нарастания засушливости климата выявлено снижение эффективности азотных удобрений и усиление действия фосфорных туков. Во влажные годы возрастает роль азотных удобрений, а при недостатке инсоляции – калийных.

5. Для разработанных полевых и почвозащитных севооборотов рассчитайте баланс гумуса и потребность в органических удобрениях.

Методика расчета баланса гумуса приводится на основе методических рекомендаций, подготовленных И.Я. Кильби, Н.Е. Лосюковым и В.В. Чупровой (1986). Оценку баланса гумуса и разработку приемов воспроизводства органического вещества осуществляют на основе анализа всех его составляющих в почвах конкретных полей с учетом чередования культур. Баланс гумуса представляет собой разность между статьями его прихода и расхода. Главная статья приходной части – вновь образующиеся гумусовые вещества за счет гумификации растительных остатков и органических удобрений. Расходную часть гумусового баланса составляет минерализация органического вещества при возделывании растений и паровании почв. Баланс гумуса можно рассчитать на основе баланса азота. Принимается (с некоторым допущением), что снижение содержания азота в почве примерно равно потреблению его растениями. Считается, что в гумусе соотношение $C : N = 20$, т. е. гумуса расходуется (минерализуется) в 20 раз больше, чем потребляется азота [Рудой, 2010]. Математическое выражение баланса гумуса в почве имеет следующий вид:

$$B_{\Gamma} = ПК \times K_{\Gamma} - (N_{\Gamma}/5) \times K_{M} \times K_{K},$$

где B_{Γ} – баланс гумуса в почве, ц/га;

$ПК$ – количество пожнивно-корневых остатков, ц/га;

K_{Γ} – коэффициент гумификации пожнивно-корневых остатков:

- для многолетних трав и люпина – 0,18;
- зерновые, зернобобовые, лен, однолетние травы (сено) – 0,15;
- силосные и однолетние травы на зеленую массу – 0,1;
- овощи, картофель – 0,05.

N_{Γ} – количество азота, потребляемого за счет гумуса, кг/га (0,5 от общего потребления азота из почвы, так как многолетние бобовые травы из воздуха фиксируют 70 % азота, а из почвы – 30 %, то для них N_{Γ} составляет $30/2 = 15$ %, для зернобобовых – 20 %;

K_M – коэффициент на гранулометрический состав почвы:

- для песчаных почв – 1,8;
- супесчаных почв – 1,4;
- легкосуглинистых почв – 1,2;
- среднесуглинистых почв – 1,0;
- тяжелосуглинистых почв – 0,8;

K_K – коэффициент на группу культур:

- для многолетних трав – 1,0,
- культур сплошного сева – 1,2,
- пропашных культур – 1,6;
- чистых паров – 2,0.

Последовательность расчета баланса гумуса представлена в таблице 16. Рассмотрим баланс гумуса на примере поля озимой ржи.

Минерализация гумуса. Минерализация гумуса почв определяется по расходу почвенного азота сельскохозяйственными культурами. Для этого определяется вынос азота с урожаем продукции. Планируемая величина урожая озимой ржи – 20,0 ц/га. Для формирования 1,0 ц требуется 2,9 кг азота (табл. П.15), на весь урожай – $20,0 \text{ ц/га} \times 2,9 \text{ кг} = 58 \text{ кг}$.

Скорость минерализации гумуса зависит от **гранулометрического состава почвы**, поэтому на исчисленное количество N почвы, которое израсходовано на формирование урожая и на основании которого устанавливается масса минерализации гумуса, вводится поправка. В нашем примере гранулометрический состав почвы на поле озимой ржи тяжелосуглинистый. Для этого гранулометрического состава используем поправочный коэффициент 0,8. Отсюда, $58,0 \times 0,8 = 46,4$.

Скорость минерализации между культурами различна, поэтому вводим соответствующий поправочный коэффициент (для культур сплошного посева) – 1,2, следовательно, $46,4 \times 1,2 = 55,7$. Такое количество азота израсходовано для формирования урожая 20 ц/га.

Наиболее интенсивно минерализация гумуса происходит в чистых парах. Поэтому минерализация гумуса в поле пара рассчитывается по расходу почвенного азота интенсивной пропашной культурой и умножением его на коэффициент 1,1. Для определения количества минерализованного гумуса общий расход азота почвы под культурами умножается на 20 (коэффициент перевода азота в гумус).

Таблица 16 – Расчет баланса гумуса в севообороте

Культура севооборота	Планируемый урожай, ц/га	Вынос N почвы, кг/га	Расход N почвы с учетом поправок			Минерализация гумуса, ц/га	Масса пожнивно-корневых остатков, ц/га	Образование гумуса из остатков, ц/га	Баланс гумуса, ц/га	Требуется навоза для покрытия дефицита гумуса, т/га
			на гранулометрический состав	на группу культур	всего					
Пар*	–	–	–	–	–	25,0	–	–	–25,0	28,0
Озимая рожь	20,0	58,0	46,4	55,7	55,7	11,1	24,0	3,6	–7,5	8,3
Горох	16,0	83,2	66,6	79,9	79,9	16,0	19,2	2,9	–13,1	14,4
Подсолнечник, з.м.	180,0	72,0	57,6	92,2	92,2	18,4	21,6	2,2	–16,2	17,8
Гречиха	15,0	48,0	38,4	46,1	46,1	9,2	33,0	4,5	–4,7	5,8
Ячмень	22,0	63,8	51,0	61,2	61,2	12,2	24,2	3,6	–8,6	9,5
Требуется навоза на весь севооборот										83,8
Требуется навоза на 1 га севооборота										14,0

*минерализация в паровом поле составляет 25 ц/га

Новообразование гумуса из корневых и пожнивных остатков.

После каждой культуры на поле остаются пожнивно-корневые остатки, которые подвергаются минерализации и одновременно гумификации. Накопление пожнивно-корневых остатков определяется видом возделываемой культуры и ее урожайностью (табл. 17). Общая масса растительных остатков, поступающих в почву, рассчитывается путем перемножения нормативных данных их накопления на единицу урожая (табл. 17) на величину урожая основной продукции.

Для всех зерновых при урожайности 16–20 ц/га используется коэффициент накопления пожнивно-корневых остатков, равный 1,2. Урожайность озимой ржи 20 ц/га умножаем на коэффициент 1,2, получаем 24,0 ц/га.

Таблица 17 – Зависимость накопления пожнивно-корневых остатков от урожайности культуры (ВНИПТИОУ)

Зерновые и зернобобовые		Многолетние травы (сено)		Однолетние травы (зеленая масса)		Кукуруза на силос		Картофель, корнеплоды, овощи	
1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2
11–15	1,3	11–20	1,9	51–100	0,28	101–150	0,12	101–150	0,13
16–20	1,2	21–30	1,6	101–150	0,25	151–200	0,12	151–200	0,12
21–25	1,1	31–40	1,4	151–200	0,20	201–250	0,11	201–250	0,12
26–30	1,0	41–50	1,3	201–250	0,15	251–300	0,11	251–300	0,12
>30	0,9	51–60	1,2	251–300	0,13	>300	0,10	>300	0,11

*Примечание: графа 1 – урожай основной продукции, ц/га; графа 2 – норматив накопления сухого вещества пожнивно-корневых остатков на 1 ц основной продукции.

Интенсивность гумификации культур различная (табл. 18). Из таблицы 18 следует, что коэффициент гумификации зерновых культур равен 0,15. Следовательно, 24 ц пожнивно-корневых остатков озимой ржи образовали 3,6 ц гумуса. Таким образом, на формирование урожая озимой ржи в 20 ц/га израсходовано в результате минерализации 11,1 ц/га гумуса. А из оставшихся пожнивно-корневых остатков образовалось 3,6 ц/га гумуса. Следовательно, баланс гумуса составляет: $3,6 - 11,1 = -7,5$ ц/га. Характер баланса отрицательный. Для покрытия расхода гумуса (оптимизация баланса) необходимо внести органические удобрения.

Установлено, что при содержании в навозе 25% сухого вещества и влажности 75% коэффициент гумификации равен 0,20. Из одной тонны такого навоза в почве образуется 0,5 ц гумуса, т. е. для образо-

вания 1 ц гумуса требуется 1 т навоза. Если навоз перепревший, то для образования 1 ц гумуса достаточно 1,1 т навоза. Поэтому, дефицит гумуса в 7,5 ц на поле озимой ржи покрывается внесением 8,3 т перепревшего навоза (см. табл. 16).

Таблица 18 – Интенсивность гумификации
пожнивно-корневых остатков культур

Пожнивно-корневой остаток сельскохозяйственных культур в почве	Коэффициент гумификации
Многолетние травы	0,18
Зерновые и зернобобовые	0,15
Картофель, корнеплоды, овощи	0,08
Силосные	0,10

6. На основе полученных расчетов проведите сравнительный анализ балансовых значений для севооборотов разных категорий земель. При обосновании обратите внимание на выявление причин, приведших к изменению содержания гумуса в почве севооборота. Предложите мероприятия по регулированию и воспроизводству почвенного плодородия.

Лабораторная работа 4. Накопление, использование органических удобрений и технология их внесения

Основные теоретические положения

Применение органических удобрений во всех почвенно-климатических районах Сибири – важнейшее условие повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Исследованиями установлено, что на дерново-подзолистых почвах прибавка урожая первой культуры от навоза составляет 25–42 %, и распределение этих прибавок по годам зависит от особенностей севооборота. На черноземных почвах урожай первой культуры возрастает на 19–26 %, а от последствия – на 74–81 %. По данным ВИУА, эффективность навоза увеличивается в ряду севооборотов: зернотравяные – зернопаровые – зернопропашные – зернопаропропашные – плодосменные – пропашные. Поэтому в первую очередь органическими удобрениями обеспечивают следующие севообороты: овощные, кормовые с большим набором пропашных культур, специализированные с техническими культурами (сахарная свекла, конопля).

Насыщенность органическими удобрениями полевых севооборотов с преобладанием зерновых хлебов, льна-долгунца, а также лугопастбищных севооборотов значительно меньше, чем овощных.

При распределении органических удобрений по полям севооборота учитывают тип и плодородие почвы, обеспеченность хозяйства навозом, его качество, отзывчивость культуры и предшественник.

В каждом севообороте выбирают, как правило, два (реже три) поля для внесения органических удобрений. В северных районах применяют более высокие дозы навоза, чем в южных и засушливых районах. Причем эффективность навоза возрастает от степной к таежной зоне. Навоз действует на урожай всем комплексом своих питательных веществ в Нечерноземной зоне и в основном фосфором – в засушливых районах, где зерновые культуры обычно не реагируют на внесение минерального азота и калия. Только на легких почвах отмечено преимущество навоза по сравнению с эквивалентным количеством элементов питания в минеральных удобрениях. Внесение навоза увеличивает урожайность озимых хлебов, а последствие его положительно влияет на урожай яровой пшеницы и многолетних трав. Под зерновые культуры вносят меньше навоза, чем под пропашные. Наиболее высокие дозы применяют под кормовые корнеплоды, силосные и овощные культуры (капуста, огурец).

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах удобрения вносят под овощи, картофель, кормовые корнеплоды, кукурузу, сахарную свеклу, подсолнечник и другие пропашные культуры из расчета 30–60 г/га, под озимые – 20–30 т/га. Повышенные дозы органических удобрений (60–80 т/га) применяют на малопродуктивных почвах для окультуривания.

Технологические схемы применения органических удобрений

В зависимости от места хранения навоза, удаленности полей, на которых будут разбрасываться удобрения, а также технических данных машин для погрузки, транспортировки и разбрасывания удобрений и обеспеченности хозяйств этими машинами при внесении твердых органических удобрений применяют две технологические схемы:

1. *Прямоточную*: ферма – навозоразбрасыватель – поле.
2. *Перевалочную*: ферма – транспортное средство – место складирования у поля – навозоразбрасыватель – поле.

По *прямоточной технологической схеме* из прифермского хранилища навоз грузят в навозоразбрасыватели, которые вывозят его в поле и распределяют по поверхности почвы. Этот способ считается рациональным для внесения органических удобрений в прифермских севооборотах на расстоянии до 4 км.

По *перевалочной технологической схеме* навоз вывозят на расстояние более 4 км в поля в течение всего года, укладывают в бурты и хранят в штабелях, в последующем распределяют по полю. В этом случае навозоразбрасыватели используют только для внесения удобрений, поэтому их сменная производительность значительно повышается.

Для погрузки твердых органических удобрений в транспортные средства и укладки в бурты применяют грейферные, фронтально-перекидные погрузчики и др. Вывозят органические удобрения автомобилями-самосвалами и тракторными прицепами самосвалами.

Для внесения твердых органических удобрений применяют машины ПРТ-16, РОУ-5, РОУ-6, 1-ПТУ-4, ПТУ-7000, RAUCH-7000, Торнадо (JOSKIN), JOHNDEERE, Flex III 20 «Samson Agro A/S» (Дания).

В современных условиях значительно возросли требования к качеству внесения органических удобрений и требования к охране окружающей среды. Особое внимание уделяется оптимизации норм расхода удобрений, повышению равномерности их распределения. В значительной степени решению этих задач способствует оснащение современных машин для внесения органических удобрений бортовыми компьютерами, позволяющими автоматически регулировать технологические параметры работы.

Жидкие органические удобрения вносят с помощью МЖУ-16, МЖУ-20, Greenstar – 10,2; Zunhammer; TerraGator; ПИТОН-100, ПИТОН-200. Преимущественное распространение среди машин получили прицепы-цистерны. Это обусловлено тем, что их применение обеспечивает низкие годовые расходы, отсутствие простоев, высокую технологическую гибкость, а также возможность использования на отдельных участках хозяйства. Внесение жидких органических удобрений осуществляется по следующим технологическим схемам [Васильев, Филиппова, 1988]:

А: прифермское навозохранилище – цистерна – поле
навозохранилище – цистерна-разбрасыватель – поле;

Б: прифермское навозохранилище – трубопровод – поле
навозохранилище (гидрант) – цистерна-разбрасыватель – поле;

В: навозохранилище – трубопроводная сеть – дождевальная установка – цистерна-разбрасыватель – поле.

Схему А применяют при отсутствии трубопровода при перекачивании навоза из прифермского хранилища в полевое.

Схему Б – при отсутствии трубопроводной сети и дождевальных установок намного эффективнее первой. Транспортировка жидкого навоза из прифермского хранилища в полевое навозохранилище по трубам с последующим внесением его цистернами – разбрасывателями позволяет намного снизить транспортные расходы и значительно повысить производительность труда. При удобрении полей по схемам А и Б навоз не разбавляют водой.

Схему В применяют при наличии трубопроводной сети и установки для дождевания. При этом используемый навоз разбавляют водой в соотношении 1:5-7.

Содержание задания

1. Используя справочные материалы таблиц (табл. П.11, П.12), рассчитайте дозу, определите место и периодичность внесения органических удобрений в севооборотах.

Накопление подстилочного навоза, которое можно получить от всего поголовья скота в хозяйстве подсчитывают, пользуясь средними данными по выходу навоза на 1 голову в зависимости от продолжительности стойлового периода (табл. П.11), поголовья скота, а также птичьего помета (табл. П.12). Данные по производству и накоплению органических удобрений следует систематизировать в таблице 19.

2. В связи с тем, что наиболее эффективным является применение полуперепревшего навоза, следует от полученного количества навоза вычесть 25 %, которые теряются при его разложении.

Полученное количество органических удобрений следует пересчитать на 1 га пашни – насыщенность севооборота органическими удобрениями (для этого полученное количество органических удобрений нужно разделить на площадь севооборота). Затем найдем величину дозы органических удобрений: умножим их количество, приходящееся на 1 га пашни, на число полей в севообороте.

3. Рассчитанную дозу органических удобрений нужно рационально распределить по объектам. Установите, в какое поле севооборота, и в какой норме планируется внесение органических удобрений.

Опишите применяемую технологию внесения и заделки органических удобрений в почву, указав сельскохозяйственные агрегаты и машины.

Таблица 19 – Накопление навоза (птичьего помета) на отделении при продолжительности стойлового периода дней

Вид скота, имеющийся в хозяйстве	Количество голов	Выход навоза за 1 год, т		Выход навозной жижи в год, т
		от 1 головы	всего	
КРС				
Молодняк КРС				
Лошади				
Свиньи				
Овцы				
Птица				

4. Определите степень использования органических удобрений культурами севооборота (табл. 20). Исходя из химического состава навоза, взятого из таблицы П.13, рассчитывается содержание питательных веществ в той дозе навоза, которая запланирована для внесения в конкретное поле севооборота.

Таблица 20 – Использование питательных веществ культурами из навоза

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Химический состав навоза, %			
Содержание питательных веществ в ___ т навоза, кг			
<i>Использование первой культурой</i>			
Коэффициент использования питательных веществ из навоза, %			
Будет усвоено, кг			
<i>Использование второй культурой</i>			
Коэффициент использования питательных веществ из навоза, %			
Будет усвоено, кг			
<i>Использование третьей культурой</i>			
Коэффициент использования питательных веществ из навоза, %			
Будет усвоено, кг			
Усвоено всего культурами, кг			

Примечание: показатель – усвоено всего культурами (кг) – рассчитывается как сумма усвоенных элементов первой, второй и третьей культурами. Коэффициенты использования питательных веществ из навоза приведены в таблице П.11.

С учетом коэффициента использования растениями питательных веществ из навоза определяется количество доступных элементов питания, получаемое растениями из навоза.

Семинар «Особенности применения органических удобрений»

1. Понятие о качестве органических удобрений. Экологическое значение органических удобрений и подходы к нормированию их внесения (ПДК по дозе азота, вносимой с органическими удобрениями на богарных и орошаемых землях).

2. Подходы к оценке органических удобрений по способности к гумусообразованию.

3. Характеристика почв земледельческой территории Красноярского края по содержанию гумуса, внесению органических удобрений и продуктивности пашни.

4. Роль сидератов в технологиях возделывания культурных растений, основанных на ресурсосбережении.

5. Сидеральные культуры, рекомендованные для земледелия в условиях Сибири. Охарактеризуйте их биологические особенности и принципы выбора.

6. Вермикомпостирование: значение в биологическом земледелии, технологические особенности процесса, качество продукта, дозы внесения.

7. Технологии внесения органических удобрений: сроки, способы, приемы, дозы, глубина заделки удобрений в почву. Склады для хранения удобрений. Вопросы качества внесения органических удобрений.

МОДУЛЬ 2 НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ

Задача формирования системы удобрений включает два аспекта:

1) регулирование круговорота веществ в агроландшафтах, оптимизация элементов земледелия системно зависимых от применения удобрений;

2) управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур в агроценозах.

Стратегия формирования систем удобрения сельскохозяйственных культур в севооборотах должна изменяться в зависимости от обеспеченности агрохимическими ресурсами [Кирюшин, 2015]. Суть ее заключается в том, что на первом этапе решается задача регулирования питания растений в компенсирующем режиме в звеньях, где оно наименее сбалансировано: компенсация дефицита фосфора в паровых полях и дефицита азота при минимизации,

стартовое, припосевное удобрение, подкормка озимых зерновых и многолетних трав и т. п. При этом окупаемость минеральных удобрений может достигать 10 кг зерна за 1 кг д. в. В процессе освоения нормальных систем земледелия и агротехнологий необходимо дифференцировать применение удобрений с учетом крутизны и экспозиции склонов, их влагообеспеченности, эродированности, солонцеватости почв и других агроэкологических условий. По достижении уровня обеспеченности пашни минеральными удобрениями, необходимого для оптимизации системы земледелия по определенным экологическим и экономическим условиям, дальнейшее увеличение их применения должно осуществляться в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в расчете на планируемую урожайность.

Лабораторная работа 5. Прогнозирование потребности культур севооборота в минеральных удобрениях

Основные теоретические положения

При высокой стоимости минеральных удобрений необходимым критерием целесообразности их применения должна стать рентабельность. Поэтому научно обоснованный выбор доз основных элементов питания растений ориентируется не только на повышение урожайности и качества урожая, на высокую окупаемость удобрений урожаем, но и на получение максимальной прибыли с каждого гектара. При этом необходимо усовершенствовать все звенья технологической цепочки применения удобрений, и одним из важнейших является оптимизация доз удобрений. В агрохимической науке сложилось несколько методов расчета доз удобрений. Их эффективность зависит от объективности имеющейся исходной информации о конкретных почвенно-климатических условиях и культурах.

В настоящей работе применяют метод расчета доз удобрений, основанный на возврате питательных веществ от их выноса с урожаями в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания. Основатель отечественной агрохимии Д.Н. Прянишников полагал, что непрерывное повышение урожаев и сохранение плодородия почвы возможно при возврате в почву 75–80 % азота, 100–110 % калия и 120–180 % фосфора.

Математическое выражение данного метода имеет следующий вид:

$$D = U_{\text{п}} \times B \times K_1 \times K_2,$$

где D – доза удобрения, кг д.в. на 1 га;

$U_{\text{п}}$ – величина планируемого урожая, ц с 1 га;

B – вынос элементов питания (N, P₂O₅, K₂O) с единицей урожая, кг (см. табл. П.15).

K_1 – поправочный коэффициент в зависимости от обеспеченности почв элементами питания или коэффициент возврата (см. табл. 7, 9, 11);

K_2 – поправочный коэффициент на содержание доступной влаги в метровом слое почвы перед посевом культур (см. табл. П.16).

Содержание задания

Проведите расчеты доз минеральных удобрений для каждой культуры севооборотов. Порядок выполнения расчетов доз приводится ниже.

Расчет потребности севооборота в азоте

Для получения высоких урожаев азот должен возвращаться в виде удобрений в овощных севооборотах на 100–110 %, а в полевых – в количестве 50–80 % от выноса с планируемым урожаем.

Коэффициенты возврата азота от его выноса с урожаем, в зависимости от обеспеченности этим элементом питания, приведены в таблице 21. Данная таблица имеет справочный характер для полевых севооборотов.

Таблица 21 – Возврат азота с удобрениями в зависимости от обеспеченности им почв для полевых севооборотов

Обеспеченность почв азотом	Возврат азота, % от его выноса с урожаями	Коэффициент возврата (K_1)
Очень низкая	80	0,8
Низкая	70	0,7
Средняя	50	0,5
Повышенная	20	0,2
Высокая	Не применяется	–
Очень высокая	Не применяется	–

Рассчитывается вынос азота с планируемым урожаем культур, а также потребность севооборота в азотных удобрениях в зависимости от обеспеченности растений азотом по предшественникам. Результаты расчетов оформляются в виде таблицы.

Азотные удобрения в севообороте действуют один год и не обнаруживают последействия. Это положение необходимо учитывать при дальнейшем распределении удобрений в севообороте.

Таблица 22 – Расчет доз азота в севообороте

Севооборот	Планируемый урожай (Уп), ц с 1 га	Вынос азота (В) с 1 ц, кг	Вынос азота планируемым урожаем, кг/га	Обеспеченность культур азотом по предшественникам	Коэффициент возврата азота (К ₁)	Расчетная доза азота (Д), кг/га

Итого

От общего количества требуемого азота, рассчитанного в таблице 22, необходимо вычесть поступление азота с органическими удобрениями, вычисленное в таблице 19.

Расчет потребности севооборота в фосфоре

Академик Д.Н. Прянишников рекомендовал возвращать в почву 100–130 % фосфора от его выноса с урожаями. Возврат фосфора в зависимости от обеспеченности им почв изменяется, как представлено в таблице 23.

Таблица 23 – Возврат фосфора с удобрениями в зависимости от обеспеченности им почв для полевых севооборотов

Обеспеченность почв фосфором	Возврат фосфора в % от его выноса с урожаями	Коэффициент возврата (К ₁)
Очень низкая	Более 130	1,3
Низкая	120	1,2
Средняя	110	1,1
Повышенная	На почвах обогащенных азотом Посев семян	С дозой 10-20 кг/га –II–
Высокая		
Очень высокая		

Общая потребность севооборота в фосфоре рассчитывается в таблице 24. Используется такой же принцип расчета, как для расчета доз азотных удобрений.

Следует учитывать, что рядковое внесение удобрений в малых дозах практически не оказывает последствий. Фосфорные удобрения в дозах 40–80 кг д.в. на гектар существенно действуют на урожай два года, что также необходимо учитывать при разработке системы удобрения.

Таблица 24 – Расчет доз фосфора в севообороте

Севооборот	Планируемый урожай (Уп), ц с 1 га	Вынос фосфора (В) с 1 ц, кг	Вынос фосфора с планируемым урожаем, кг/га	Обеспеченность почв фосфором	Коэффициент возврата (К ₁)	Расчетная доза фосфора (Д), кг/га

Итого

От общего количества фосфора, требуемого культурами севооборота в таблице 24, следует вычесть фосфор, поступающий с органическими удобрениями, рассчитанный в таблице 19.

Расчет потребности севооборота в калии

Для расчета потребности в калии выдерживается такой же принцип расчета доз удобрений. Размеры возврата калия с удобрениями на почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Возврат калия с удобрениями в зависимости от обеспеченности им почв для полевых севооборотов

Обеспеченность почв калием	Возврат калия, % от его выноса с урожаями	Коэффициент возврата (К ₁)
Очень низкая	100	1,0
Низкая	80	0,8
Средняя	60	0,6
Повышенная	20–40	0,2–0,4
Высокая	Не применяется	
Очень высокая	Не применяется	

При средней и высокой обеспеченности почв калием его возврат с удобрениями меньше, потому что его валовые запасы в почве больше, происходит постоянный переход их в подвижные формы. Калийные удобрения вносят один–два раза за севооборот в оптимальных дозах, в основном, под калиелюбивые культуры или в паровые поля. В таких дозах калийные удобрения обладают последствием.

Порядок расчета потребности севооборота в калийных удобрениях приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет доз калия в севообороте

Севооборот	Планируемый урожай (Уп), ц с 1 га	Вынос калия (В) с 1 ц, кг	Вынос калия с планируемым урожаем, кг/га	Обеспеченность почв калием	Коэффициент возврата (К ₁)	Расчетная доза калия (Д), кг/га

Итого

Из общего количества калия, требуемого культурами севооборота (табл. 26), необходимо вычесть калий, поступающий с органическими удобрениями (см. табл. 19).

Лабораторная работа 6. Рациональное распределение удобрений в севообороте

Основные теоретические положения

По данным В.И. Титовой (2016), в современных условиях принципиальные положения системы удобрения, не потеряв смыслового содержания, претерпевают значительные изменения в форме их реализации. В последние годы существенно уменьшились общие объемы образования отходов животноводства, изменилась и их характеристика.

Важнейший вопрос системы удобрений – удобрения в альтернативных системах земледелия и технологиях, основанных на минимизации обработки почвы. Применение удобрений в технологиях Mini-

till и Strip-till имеет свои особенности. Технология No-till в этом направлении является наиболее проблемной, так как значительно осложняет возможности работы с удобрениями (прежде всего с фосфорсодержащими) и агроメリорантами.

В соответствии с традиционными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур удобрения вносят или без учета уровней агрохимических показателей почвы, или принимают во внимание усредненные данные агрохимического обследования согласно агрохимическим паспортам полей. Внесение удобрений усредненными по полю (фиксированными) дозами не отвечает требованиям отдельных растений к уровню минерального питания. Технологии точного земледелия предусматривают внесение удобрений по отдельным контурам почвенного плодородия с использованием спутниковой навигации. Исследования зарубежных и отечественных ученых свидетельствуют о повышении и выравнивании урожайности культур, при мелко-дифференцированном внесении азотных удобрений.

Неодинаковая потребность видов и сортов возделываемых культур в элементах питания обусловлена различиями вещественного (белки, углеводы, витамины и т. д.) и элементного (углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера и др.) состава основной (товарной) и побочной продукции. На вещественный и элементный состав любой культуры существенно влияют природные и антропогенные факторы, изменяющие ее рост, развитие, урожайность, качество и соотношение основной и побочной продукции.

Каждая культура в индивидуальном развитии от семени до семени проходит характерную только для него динамику (цикл) потребления питательных элементов. Период вегетации всех культур, различающихся по требовательности к элементам питания, можно разделить на три этапа.

Первый этап – прорастание семян → всходы. Для большинства культур характерна относительно слабая потребность в элементах питания. Однако именно в этот период культуры наиболее чувствительны к недостатку и избытку элементов питания, к повышенной концентрации солей и к неблагоприятной реакции почвенного раствора. Не обладая развитой корневой системой и значительными корневыми выделениями, культуры нуждаются в небольших (5–20 кг/га д. в.) количествах питательных элементов, но обязательно находящихся в легкоусвояемой водорастворимой форме. В качестве припосевного удобрения под все культуры наиболее эффективен гранулированный

суперфосфат (10 кг/га д. в.). На бедных азотом почвах совместно с фосфором под ряд культур (бобовые, зернобобовые, овощные, пропашные) эффективен и азот, внесенный в виде комплексного удобрения. Следует помнить, что недостаток макроэлементов в этот период не может быть полностью компенсирован даже избыточным питанием в последующие периоды.

Второй этап – период интенсивного роста и развития вегетативной массы – характерен для всех культур с интенсивным потреблением азота, затем фосфора и калия. Для калиелюбивых культур (подсолнечник, свекла, картофель, кукуруза и др.) калий занимает второе место. В этот период удобрения могут быть уже в виде солей, растворимых в слабых кислотах, но располагаться должны в зоне активно поглощающих их и воду корней растений.

Третий этап – период плодоношения – для большинства культур характерен общим снижением потребления элементов и сменой минимумов: возрастает потребность в фосфоре и калии, а для калиелюбивых культур – прежде всего в калии и, снижается, в азоте. В этот период происходит перераспределение многих элементов: отток их из листьев к семенам, плодам, корне- и клубнеплодам. Потребляемые корнями элементы должны быть внесены ранее до посева (фосфор, калий, кальций), а иногда в виде дополнительных подкормок (азотные, а для калиелюбивых культур – часть калийных).

Сельскохозяйственные культуры значительно различаются по длительности каждого этапа и всего вегетационного периода. Наиболее короткий период потребления, заканчивающийся в конце второго этапа роста, у яровой пшеницы, ячменя, овса, конопли, льна и редиса. Под эти культуры фосфорные, калийные и частично азотные удобрения должны быть внесены до посева, часть фосфора – при посеве и часть азота – в подкормки в начале второго периода. В третий период под зерновые колосовые возможны некорневые подкормки азотом для повышения белковости зерна.

Многие культуры (картофель, свекла, кукуруза, озимые зерновые, капуста, огурец, лук, морковь) потребляют питательные элементы в течение всего периода вегетации, но максимум наблюдается во втором этапе. Для этих культур наряду с допосевным и припосевным внесением удобрений целесообразны и подкормки наиболее подвижными их формами (микроудобрения, азотные и калийные).

Длительность потребления питательных элементов зависит и от скороспелости сортов. Более требовательны к условиям питания ран-

ние сорта культур, под которые применяют допосевное и припосевное внесение удобрений. Средне- и позднеспелые сорта потребляют больше питательных элементов за более продолжительный период, поэтому удобрения под них вносят до посева, при посеве и в 1–2 или более подкормок.

Особенности культур проявляются и в неодинаковой способности потреблять питательные элементы из труднодоступных соединений. Люпины, гречиха, горчица способны усваивать фосфор из труднодоступных (трехзамещенных) фосфатов почв и удобрений и улучшать фосфорное питание следующих за ними культур севооборотов. Бобовые культуры в зависимости от вида и длительности возделывания в симбиозе с клубеньковыми бактериями на 50–97 % удовлетворяют собственные потребности в азоте за счет огромных запасов его в атмосфере.

Почвенные факторы эффективности удобрений

Максимальные прибавки урожаев различных культур от удобрений наблюдаются на наиболее бедных (малоплодородных) почвах. При переходе к более плодородным и окультуренным почвам в качестве лимитирующих факторов продуктивности культур возрастает роль климатических условий. Поэтому эффективность удобрений, как правило, снижается. Такие явления наблюдаются при переходе от сильно- к средне- и слабоподзолистым разностям почв, от светло- к темно-серым лесным, от оподзоленных и выщелоченных к обыкновенным и южным черноземам, от светло- к темно-каштановым почвам.

На легких по гранулометрическому составу почвах наиболее эффективны азотные, калийные и многие микроудобрения, а на тяжелых – фосфорные. Причем, если последние по минералогическому составу способны необменно фиксировать калий, то эффективны и калийные удобрения.

На эффективность удобрений сильное влияние оказывают *агрохимические свойства почв*, а именно содержание подвижных форм элементов питания. Азотные удобрения наиболее эффективны на дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзоленных и выщелоченных черноземах и на всех типах орошаемых почв. Фосфорные удобрения – на южных и обыкновенных черноземах, каштановых и бурых почвах. Калийные удобрения наиболее действенны на торфяных почвах, с уменьшением эффективности на дерново-подзолистых,

затем серых лесных, еще слабее на выщелоченных черноземах, а на каштановых почвах и южных черноземах она резко снижается.

Эффективность удобрений под культурами значительно возрастает при нейтрализации кислых и щелочных почв и достигает максимума при оптимальной реакции почвенной среды. Поэтому химическая мелиорация кислых (известкование) и щелочных (гипсование) почв должна быть первым обязательным этапом системы удобрения любых агроценозов на почвах с неблагоприятной реакцией среды.

Растения лучше поглощают азот из нитратных удобрений на кислых дерново-подзолистых, серых лесных почвах. Аммонийные формы азотных удобрений, наоборот, лучше используются растениями на нейтральных и карбонатных почвах. На дерново-подзолистых и других почвах с кислой реакцией эффективны труднорастворимые формы фосфорных удобрений (фосфоритная мука, фосфатшлак).

Определяя сроки и способы внесения минеральных удобрений, следует обращать внимание на то, что на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, характеризующихся кислой реакцией среды, фосфорные водорастворимые удобрения лучше вносить весной для уменьшения связывания фосфатного иона почвенными частицами. В то же время труднорастворимые фосфорные удобрения (фосфоритная мука) на этих почвах лучше вносить осенью под основную обработку, чтобы повысить подвижность фосфора. На дерново-подзолистых почвах с промывным и периодически промывным водными режимами лучшим сроком внесения азотных удобрений является весенний. В то время как на черноземных и каштановых почвах основное удобрение, в том числе и азотное, целесообразно применять осенью.

Глубина заделки удобрений также определяется почвенно-климатическими условиями. Различная глубина заделки удобрений вызывает различную интенсивность процессов разложения удобрений. В верхних слоях почвы создаются лучшие условия для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов и превращения питательных веществ в усвояемые для растений формы, чем при глубокой заделке удобрений. Однако при мелкой заделке минеральных удобрений растения плохо используют питательные вещества, так как верхний слой почвы летом пересыхает, и мельчайшие корни и корневые волоски отмирают. Особенно нежелательна мелкая заделка удобрений в засушливых районах. На черноземах и каштановых почвах удобрения необходимо вносить глубже, а на дерново-подзолистых — на меньшую глубину.

Погодно-климатические условия. К погодно-климатическим условиям, определяющим эффективность сроков и способов, применяемых под культуры удобрений, относят сумму активных температур, сроки наступления весенних и осенних заморозков, количество и распределение в течение года осадков и влагообеспеченность почв основных регионов края. Солнечная энергия обуславливает фотосинтез, влагообеспеченность, питание, дыхание и другие процессы и состояния роста, развития и продуктивности растений, а также динамику состояний сред обитания последних.

От температуры почвы зависят темпы трансформации в ней и потребления культурами питательных элементов. При температуре 8–10 °С в растениях уменьшаются поступление, передвижение и включение в обмен веществ азота и фосфора, а при температуре 5–6 °С и ниже потребление всех элементов резко снижается. С повышением температуры почвы с 10 до 25 °С потребление растениями питательных элементов и мобилизация их подвижных форм в почве возрастают.

Основные площади посевов находятся в районах с неустойчивой влагообеспеченностью. В связи с тем, что *эффективность удобрений определяется количеством осадков, выпадающих в течение года, их положительное влияние снижается с севера на юг.* Избыток влаги в почвах обуславливает внутрипочвенный, а на склонах и поверхностный сток природных вод, и миграцию с ними питательных элементов. Максимальное выщелачивание из почв кальция, серы, магния, азота, углерода, натрия, калия происходит в весенние паводки и после уборки урожая осенью. В засушливые годы фосфорные и калийные удобрения могут обеспечивать более высокий прирост урожайности, чем во влажные. Это объясняется резким уменьшением подвижности почвенных соединений фосфора и калия в засушливые годы и значительно более высоким в связи с этим поглощением фосфора и калия из легкорастворимых удобрений.

Большое значение при использовании удобрений в различные по увлажнению годы имеет отношение отдельных культур к срокам увлажнения. Если для яровой пшеницы особенно велико значение весенних и раннелетних дождей, то кукуруза и просо хорошо используют осадки в середине и даже в конце лета. При возделывании картофеля недостаток осадков в июне–июле отрицательно сказывается на урожае. Для урожая озимых зерновых культур критическим в отношении влагообеспеченности является сентябрь.

Способы обработки почвы и обусловленные ими сроки, способы и глубина заделки удобрений, посадочного материала, видовой состав и чередование культур, количество и качество применяемых удобрений, способы защиты растений – все эти *агротехнические факторы* даже в идентичных почвенно-климатических условиях влияют на свойства и режимы почв, продуктивность культур и, следовательно, на эффективность удобрений.

Влияние севооборота на повышение усвояемости питательных веществ почвы и удобрений заключается в неодинаковом накоплении продуктивной влаги под различными предшественниками. Максимальные запасы продуктивной влаги накапливаются в чистом и занятом пару. Запасы влаги под озимой рожью и кукурузой на силос самые низкие.

При возделывании культур в севообороте создаются лучшие условия для накопления значительной массы питательных веществ в корневых и пожнивных остатках.

Культуры-предшественники оказывают неодинаковое влияние на эффективность удобрений. Растения, сильно снижающие содержание влаги в почве (многолетние травы, сахарная свекла), в условиях недостаточного увлажнения не обеспечивают высокой эффективности удобрений под последующие культуры. Культуры, следующие по чистому пару, развиваются в лучших условиях увлажнения и меньшей засоренности. Эффективность азотных удобрений по чистым парам на дерново-подзолистых и серых лесных почвах меньше, чем на черноземных. Пропашные культуры (свекла, картофель) повышают потребность в удобрениях следующих за ними культур, но и оставляют после себя значительное количество неиспользованных питательных веществ. Они подавляют развитие корневой гнили у зерновых культур.

Однолетние культуры сплошного сева (зерновые и зернобобовые), а также однолетние травы и некоторые технические и масличные культуры (лен) оставляют после себя засоренные поля с пониженной влажностью почвы и невысоким содержанием усвояемых питательных элементов.

Эффективность удобрений при возделывании культур по пласту и обороту пласта снижается в районах недостаточного увлажнения. В тоже время травы могут повышать потребность последующих культур в фосфоре, калии, чему способствует улучшение азотного режима после них.

Биологические особенности основных сельскохозяйственных культур в связи с их питанием и применением удобрений

Каждая культура в индивидуальном развитии от семени до семени проходит характерную для нее динамику (цикл) потребления питательных элементов. Зная ее, можно, а часто и нужно с помощью удобрений регулировать этот процесс.

Озимые рожь и пшеница. По сравнению с яровыми зерновыми озимые культуры имеют очень продолжительный период потребления питательных веществ, начинающийся осенью и заканчивающийся на следующий год в фазе цветения. Обладают более мощной корневой системой. Отличаются большим биологическим потенциалом, лучше отзываются на внесение удобрений. Урожайность этих культур зависит от перезимовки, которую необходимо улучшить рациональным применением органических и минеральных удобрений, а также известкованием.

Озимые культуры предъявляют повышенные требования к фосфорно-калийному питанию, которое способствует развитию корневой системы, накоплению углеводов и повышению зимостойкости. При отрастании весной они нуждаются в усиленном азотном питании. Холодная погода осенью и весной резко ослабляет поступление азота в растение. Избыток азота с осени приводит к изнеживанию растений, что является причиной гибели озимых, или полеганию летом. Очень отзывчивы озимые растения на внесение органических удобрений, особенно по чистым и занятым парам в дозе 30–40 т/га.

Обязательным является припосевное внесение фосфорных удобрений и допосевное внесение калийных удобрений. Высокоэффективный прием в системе удобрений – ранневесенняя подкормка озимых азотными удобрениями после перезимовки. Действие подкормки зависит от влажности. Для ранневесенней подкормки по мерзлоталой почве (черепку) рекомендуется применение аммиачной селитры, на поздних сроках – мочевины.

Яровые зерновые культуры (пшеница, ячмень, овес) в отличие от озимых имеют более сжатый период потребления питательных веществ. Две трети усваивается ими от начала выхода в трубку до цветения. Яровые слабее кустятся, имеют слаборазвитую корневую систему, что обуславливает сравнительно высокую потребность в доступных питательных веществах. Ячмень поглощает элементы пи-

тания за 30–35 дней, пшеница – за 48–55 дней, у овса этот период более продолжительный среди яровых.

В системе удобрения яровых зерновых культур ведущую роль выполняет азот, без внесения которого фосфорные и калийные удобрения не увеличивают урожай зерна. Фосфорные и калийные удобрения вносят с осени, азотные – под предпосевную культивацию вразброс или локально-ленточно (врезанием). В рядки при посеве вносят небольшую дозу фосфорных удобрений.

Органические удобрения под яровые хлеба, как правило, не вносят, так как они хорошо используют последствие. В Красноярском крае под яровую пшеницу, размещенную по пару, вносят 20–30 т/га.

Различают систему удобрения первых и вторых зерновых культур. Под первые зерновые (по пару, пласту многолетних трав, занятому пару) вносят только фосфорные удобрения. Калийные удобрения вносят в пар или в парозанимающие культуры, гранулированные формы можно вносить в рядки при посеве или врезать локально-ленточно. Под вторые зерновые культуры вносят азотно-фосфорные удобрения. Идеальным удобрением для повторных посевов зерновых культур являются нитроаммофос, аммофос. Их вносят в зависимости от типа почв. На черноземных почвах эффективнее применение аммофоса, а для менее гумусированных почв – нитроаммофоса.

При размещении зерновых после пропашных культур, удобренных органическими удобрениями, не следует вносить азотные удобрения более 50–60 кг/га во избежание полегания. При использовании зерновых в качестве покровной культуры для многолетних трав вносят фосфорно-калийные удобрения с учетом их общей потребности.

Основной особенностью питания *зернобобовых культур (горох)* является фиксация азота воздуха благодаря симбиозу корней бобовых культур с клубеньковыми бактериями. 75 % азота, фиксированного из воздуха, используется растениями, а 25 % остается в клубеньках. Поэтому в почве остается незначительное количество азота. В надземной массе эти растения накапливают много фосфора, кальция, магния и серы.

Важной их особенностью является способность поглощать труднодоступные формы фосфора. Большое влияние на фосфорный обмен оказывает калий. При достаточной обеспеченности почвы калием увеличивается использование даже малых доз фосфора. Зерно-

бобовые много потребляют кальция. Повышенное содержание в почве азота значительно уменьшает азотфиксацию.

Зернобобовые культуры довольно равномерно потребляют питательные вещества почвы и удобрений. Поступление азота и калия в растениях заканчивается в период цветения, а фосфор потребляется вплоть до уборки. Обязательным приемом является внесение под зернобобовые стартовых доз азота – 30–45 кг/га, так как фиксация азота начинается не с первого дня роста, а примерно через 3–4 недели. Эффективным фосфорным удобрением может являться фосфоритная мука. Для усиления азотфиксации семена бобовых культур обрабатывают нитрагином и молибденом. Очень эффективным удобрением является молибденизированный суперфосфат.

Крупяные культуры (гречиха и просо). По сравнению с зерновыми растениями гречиха – интенсивная культура. Она потребляет азота в 1,5 раза, фосфора в 2 раза, калия в 3 раза, кальция в 5 раз больше, чем пшеница. Очень хорошо реагирует на органические удобрения, внесенные под предшественник, а также на зеленое удобрение.

Гречиха требует почвенного плодородия и способна усваивать из почвы элементы питания в труднодоступной форме, хорошо усваивает фосфор из фосфоритной муки. Страдает от недостатка усвояемого азота. Поэтому при внесении азота проявляется потребность в фосфорно-калийных удобрениях. Гречиха очень чувствительна к хлору, поэтому используют бесхлорные формы калийных удобрений. Хлорсодержащие калийные удобрения вносят осенью. В качестве рядкового внесения используют двойной суперфосфат в дозе 10–15 кг/га.

Просо – теплолюбивая культура. Это определяет интенсивность потребления питательных веществ из почвы. В первые фазы роста и развития просо больше всего нуждается в азотном питании, затем – в калийном и фосфорном. Максимальная потребность в азоте и калии приходится на период кущение-цветение растений, а в фосфоре – выметывание метелки-спелость зерна.

Система удобрения проса включает основное, припосевное и подкормку. Основное удобрение обычно вносят осенью под зяблевую вспашку и применяют как органические, так и минеральные удобрения. Просо хорошо использует питательные вещества навоза и минеральных удобрений, внесенных под предшествующую культуру. Лучшими формами минеральных удобрений для проса являются аммонийная селитра, суперфосфат и хлористый калий. При плоскорез-

ной обработке почвы целесообразно использовать сложные удобрения: аммофос, нитрофоску, нитроаммофос.

Просо хорошо отзывается на рядковое внесение гранулированного суперфосфата в дозе 10–15 кг/га. Следует отметить, что припосевное удобрение не заменяет основной прием удобрений, а лишь дополняет его. Для проса необходимо проводить подкормки, так как для него характерен растянутый период потребления питательных веществ и высокая потребность в них во второй половине вегетации растений. Их проводят в фазе кущения и начала выхода растений в трубку. Рекомендуемая доза первой подкормки – $N_{20}P_{30}K_{20}$, а второй – $N_{10}P_{15}K_{15}$ [Шеуджен с соавт., 2013].

Многолетние травы развивают мощную корневую систему, обогащающую почву азотом. Они требуют фосфор и калий. В первые периоды жизни необходимы легкодоступные фосфаты. Велика потребность и в калии, вынос которого клевером в 10 раз больше, чем льном и зерновыми.

Предъявляют требования к бору, молибдену и меди, которые способствуют росту и развитию и повышают продуктивность. Клевер высевают под покров. Он не переносит кислые почвы. Хорошо отзывается на органические удобрения, которые вносят под покровную культуру (20–30 т/га), особенно на дерново-подзолистых почвах. Фосфорно-калийные удобрения вносят под покровную культуру. При этом эффективность удобрений в два раза выше, чем при поверхностном внесении. Вносят высокие дозы в запас. Подкормки проводят азотными и фосфорными удобрениями в дозах 30–40 кг/га. Семена рекомендуют обрабатывать молибденом.

Люцерна предъявляет более высокие требования к плодородию, чем клевер. Дает высокие урожаи только на хорошо окультуренных почвах. Корневая система более мощная, чем у других трав. Хорошо отзывается на органические удобрения, внесенные под предшествующую культуру. Под основную обработку вносят суперфосфат и калийные удобрения. На хорошо окультуренных почвах норму фосфорных удобрений снижают на 20–30 %, а калия оставляют. Подкормки удобрениями, особенно азотными, применяют после каждого укоса по 40–60 кг/га. Эффективность подкормок значительно возрастает при орошении.

Кормовые корнеплоды дают высокие урожаи на плодородных почвах при хорошей заправке удобрениями. Наиболее требовательна кормовая свекла, затем брюква и менее турнепс. Они обладают ма-

лоразвитой корневой системой, но потребляют много питательных веществ. Кормовые корнеплоды неодинаково потребляют питательные вещества во время вегетации. При формировании надземной части (ботвы) необходимо усиленное азотное питание. Фосфор равномерно поступает в течение всей вегетации. Калий активно поглощается во вторую половину вегетации при формировании корнеплода. Основным удобрением являются органические в норме 40–60 т/га и более. Кормовые корнеплоды хорошо отзываются на последствие органических удобрений. Из всех корнеплодов наиболее отзывчив на минеральные удобрения турнепс. Кормовая свекла хорошо отзывчива на натрий, поэтому лучше применять калийную соль, в составе которой содержится натрий. Кроме того эта культура нуждается в боре, внесение которого предотвращает заболевание корнеплодов гнилью сердечка и дуплистостью корня. Корнеплоды положительно реагируют на рядковое внесение суперфосфата. Эффективны подкормки. Первую подкормку проводят при образовании первой пары настоящих листьев азотом и фосфором или навозной жижей. Во вторую подкормку перед смыканием ботвы вносят фосфорно-калийные удобрения.

Картофель вследствие слаборазвитой корневой системы, располагающейся в верхнем пахотном слое, требует высокого плодородия почвы и внесения значительных количеств удобрений. Влияние разных видов удобрений на рост, развитие и урожай картофеля неодинаково. Азот способствует нарастанию ботвы. Фосфор положительно влияет на растение в течение всей вегетации, особенно в период цветения и клубнеобразования, калий способствует синтезу крахмала и потребляется в больших количествах, чем азот и фосфор.

Важный период – клубнеобразование. В этот период необходимо наличие достаточного количества питательных веществ, которые расходуются на рост клубней. Избыток азота при клубнеобразовании уменьшает накопление крахмала в клубнях и их вызревание. Происходит «жирование» клубней. Высокоэффективным является внесение под картофель навоза в дозе 40–60 т/га под зяблевую вспашку. Повышенные нормы навоза нежелательны, так как понижают содержание крахмала в клубнях, особенно при недостатке влаги. Под картофель вносят полное минеральное удобрение по 60–90 кг/га каждого. Из азотных удобрений лучше применять аммонийные формы, а из калийных – бесхлорные, так как картофель является хлорофобной культурой. Лучше применять серосодержащие калийные удобрения, такие, как сульфат калия в связи с дополнительной потребностью

картофеля в сере. Фосфорно-калийные удобрения вносят под основную обработку, а азотные – под предпосевную. Рекомендуется внесение комплексных удобрений (нитроаммофос, диаммофос). Идеальными являются тройные комплексные удобрения. Эффективно под картофель локально-ленточное внесение (врезание), так как удобрения в этом случае вносятся в слой, где идет клубнеобразование.

Подсолнечник обладает мощной корневой системой, поглощающей большое количество калия и азота. Соотношение потребляемых питательных веществ (N:P:K 1,2:1:6 на семена и 1,7:1:5 на зеленую массу). Подсолнечник – калийлюбивая культура. Избыток азота при недостатке фосфора резко снижает масличность. Азот усиленно потребляется подсолнечником от начала образования корзинок до налива семян, калий – в фазу образования корзинки. Подсолнечник может использовать питательные вещества из глубоких слоев почвы за счет мощной корневой системы. В системе удобрения используют органические удобрения 30–40 т/га. Навоз вносят под зяблевую вспашку и под весеннюю перепашку зяби. При посеве вносят нитроаммофос или двойной суперфосфат. Первую подкормку, как правило, азотными и фосфорными удобрениями применяют при появлении 3–4 пары листьев, вторую – фосфорно-калийными удобрениями – перед образованием корзинок.

Кукуруза обладает большими потенциальными возможностями для создания урожая зеленой массы. Кукуруза – теплолюбивая культура, это определяет ее требования к произрастанию. Весной в Сибири часто складываются неблагоприятные условия для возделывания кукурузы на силос, и в первый месяц после появления всходов она очень медленно развивается. В этот период кукуруза очень требовательна к наличию легкодоступных питательных веществ в почве. Однако в момент прорастания семян кукуруза чувствительна к концентрации солей в почве, поэтому дозу рядкового внесения дают очень малой – до 10 кг/га. Эффективно внесение основного фосфорно-калийного удобрения в дозах 60–90 кг/га. Более высокие дозы вносят в том случае, если не применяли навоз или компост. Азотные удобрения лучше вносить не с осени, а весной под предпосевную культивацию и при междурядной обработке (как подкормку). Наиболее интенсивное поглощение кукурузой питательных веществ, особенно азота, начинается с фазы 6–7 листьев. Органические удобрения вносят осенью – под зябь. Лучшими формами азотных удобрений под кукурузу

зу является аммиачная вода и безводный аммиак. Эти удобрения способствуют гибели проволочника – опасного вредителя кукурузы.

Лен-долгунец – культура очень требовательная к пищевому режиму. Лен характеризуется слаборазвитой корневой системой и имеет очень короткий (30 дней) период максимального потребления питательных веществ. Это период быстрого роста (конец фазы елочки – цветение). Поэтому при определении норм удобрений возникает много трудностей, связанных с биологией культуры: невысокая усвояемость питательных веществ, короткий период их потребления, повышенная чувствительность растений к концентрации почвенного раствора и недостатку влаги. Лен требует соблюдения норм и правильного соотношения элементов питания, равномерного распределения по полю. Вносят хорошо перепревший навоз 15–20 т/га. Под лен нельзя переизвестковывать почву, поскольку растения могут поражаться бактериозом. Норма полного удобрения $N_{30-60}P_{60-90}K_{90-120}$. Калийные удобрения вносят под основную обработку, часть фосфорных удобрений врезают, часть вносят при посеве. Лучше использовать борный суперфосфат. В фазу елочки эффективны подкормки аммиачной селитрой.

Особенности питания и удобрения овощных культур

Группа овощных культур представлена широким набором растений по ботаническому составу, по биологии роста и развития, по характеру используемых в пищу частей. Каждая культура характеризуется своеобразием и динамичностью в характере поглощения элементов питания и фазам роста и развития растений.

Для нормального режима питания овощных культур важное значение имеют аэрация и температура почвы. Эти культуры при температуре почвы 12 °С, как правило, голодают, так как получают азота на 25 %, а фосфора вдвое меньше, чем при температуре 20 °С.

Овощные культуры неодинаково относятся к реакции среды и концентрации почвенного раствора. Наиболее выносливы к кислой реакции рН 5,0 редис, редька, щавель, арбуз. Морковь, огурец, томат и кольраби переносят рН 5,5–6,0. Для капусты белокочанной и цветной требуется рН 6,0–6,5. Свекла столовая, салат, лук, лучше произрастают на почвах с нейтральной реакцией рН 6,5–7,0. Поэтому наиболее отзывчивы на известкование и непосредственное внесение извести свекла и капуста белокочанная, а лук, огурец, салат хорошо

используют последствие известкования. Малотребовательны к внесению извести редис, томат, горох, цветная капуста. К повышенной концентрации почвенного раствора чувствительны лук, огурец, морковь. Свекла, капуста и томат хорошо развиваются при повышенной концентрации.

Эффективность удобрений в овощеводстве определяется водным балансом. Улучшение фосфорного питания позволяет растениям лучше переносить засуху, избыток азота усиливает отрицательное действие засухи.

Овощные культуры неодинаково реагируют на различные формы минеральных удобрений. Хороший эффект оказывают мочевины и аммиачная селитра. Капуста, огурец и томат положительно реагируют на сульфат аммония. Из фосфорных удобрений лучшими являются гранулированный суперфосфат. На почвах, бедных серой, предпочтение отдают простому гранулированному суперфосфату, особенно под томат, капусту и огурец. Из калийных удобрений сульфат калия оказывает лучшее действие на все культуры по сравнению с хлористым калием, за исключением столовой свеклы. Натрийсодержащие калийные удобрения хорошо применять под свеклу, томат, капусту. Высококонцентрированные калийные удобрения необходимо вносить под лук, морковь, огурец.

Капуста. Корневая система капусты, хотя и сильно разветвленная, в основном располагается в пахотном слое и не отличается повышенной усваивающей способностью элементов питания из труднорастворимых соединений. По этой причине капусте необходима большая площадь питания: оптимальная схема посадки $0,7 \times 0,7$ м (20 тыс. растений на 1 га). Она потребляет элементы питания в течение всего периода вегетации. Фаза интенсивного поглощения элементов питания – формирование кочанов, т. е. вторая половина вегетации. Исходя из биологических особенностей минерального питания растений, система удобрения предусматривает удобрение грунта для выгонки рассады; основное удобрение почвы; внесение удобрений при высадке рассады; подкормки.

Основное удобрение прежде всего включает навоз, торфокомпосты и низинный, хорошо разложившийся некислый торф. Более эффективно эти удобрения используются средне- и позднеспелыми сортами капусты. На минеральных почвах они могут сопровождаться азотными минеральными удобрениями, хороший эффект дает компостирование органических удобрений с фосфоритной мукой. Вынос

калия растениями в 4 раза больше, чем фосфора. Поэтому почва должна быть обогащена этим элементом. Оптимальное соотношение основных элементов питания на фоне навоза 1,5:1,0:2,0; без навоза – 2,0:1,0:2,5.

Огурцы – растение теплолюбивое. На долю корневой системы огурца приходится не более 3–5 % общей массы растения и это накладывает свой отпечаток на систему удобрения культуры. Огурец может поглощать элементы питания только из легкорастворимых соединений и в то же время не выносит повышенных концентраций питательных веществ. Интенсивный прирост вегетативной массы огурца наблюдается в первые 5 декад, причем в листьях выше доля азота и фосфора, в стеблях – калия. С 4-й декады идет накопление сухой массы и элементов питания в плодах – калия в мякоти, азота в семенах. Основная часть элементов питания поглощается растением в период плодоношения – от 55 до 85 %. В начале вегетации преимущественно поглощается азот, затем, в период интенсивного роста ботвы, усиливается потребление калия, а в период плодоношения, в связи с ростом ботвы – снова азота.

Система удобрения огурца включает основное внесение и подкормки. Задачей основного удобрения является создание оптимальной реакции среды, обогащение почвы элементами питания. Огурцы предпочитают органические удобрения, в том числе навоз любой степени разложения. Высокие урожаи хорошего качества огурцов обеспечиваются при достаточном содержании в почве микроэлементов – бора, марганца. Первая подкормка растений огурца проводится в начале цветения, в период плодоношения эта операция проводится после каждого сбора урожая, практически каждые 3–4 дня.

Томаты формируют слабо развитую корневую систему, которая в основном располагается в пахотном слое. Длительный период интенсивного поглощения элементов питания, высокие требования растений к аэрации водопотреблению вызывают необходимость плодородных, достаточно оструктуренных почв. Пасленовые культуры отличаются способностью к продолжительному росту и новообразованию органов. Соответственно, поглощение элементов питания идет в течение всего периода вегетации. При выгонке рассады до появления первых листочков растения преимущественно нуждаются в азоте. В связи с утолщением и ростом стебля, возрастает потребность в калии и фосфоре.

После высадки рассады в грунт, в период разрастания листьев до завязывания плодов усиливается поглощение азота. При формиро-

вании плодов в сумме усваиваемых плодов преобладает калий. В августе интенсивность поглощения элементов питания резко снижается. Налив плодов в основном идет за счет передвижения из вегетативных органов поглощенных ранее элементов питания. В целом за вегетационный период потребление элементов питания происходит в соотношении 2,5:1,0:4,0.

Система удобрения для пасленовых культур включает следующие элементы: грунт и удобрения для выгонки рассады; основное удобрение; подкормки. В качестве основного под эти культуры вносят органические удобрения, но они должны быть хорошо разложившимися. Свежий навоз вызывает формирование нестандартных по форме плодов, может снизить содержание сахаров, аскорбиновой кислоты, витаминов. Эти культуры хорошо используют последствие органических удобрений. Подкормки растений пасленовых проводятся перед цветением и в период формирования плодов. В составе смеси для подкормки растений должен преобладать фосфор. Рекомендуемые дозы элементов питания (кг/га): азот – 15, фосфор – 30, калий – 15.

Лук отличается повышенной требовательностью к плодородию почвы, так как корневая система его слабо развита и располагается в поверхностном слое почвы. В то же время лук чувствителен к повышенной концентрации питательного раствора и кислотности. Толерантные значения рН для лука – 6,5–8,0; оптимальные – 6,7–7,3. Репчатый лук хорошо реагирует на минеральные удобрения. Калийные и фосфорные удобрения ускоряют созревание луковицы, повышают плотность, массу и лежкость. В условиях хорошей влагообеспеченности наиболее высокий урожай получают при внесении органических (20–30 т/га) и минеральных ($N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$) удобрений. Большое значение имеет внесение общего количества минеральных удобрений в подкормку [Юлушев, 2005].

Рациональное распределение удобрений в севообороте с учетом потребности в удобрениях

При рациональном распределении разных видов удобрений в севообороте необходимо руководствоваться следующими основными принципами [Сорокина, Белоусова, 2020].

Азотные удобрения вносят под многолетние и однолетние травы, силосные культуры, повторные посевы зерновых и на хорошо обеспеченные фосфором и калием почвы.

Фосфорные удобрения необходимо вносить под зерновые культуры, размещенные по хорошим азотным предшественникам (чистым и занятым парам, пласту и обороту пласта многолетних трав), при оптимальных дозах азотных удобрений под них, под покровные культуры для многолетних трав, а также под пропашные (картофель, кормовые корнеплоды).

Калийные удобрения необходимо вносить один или два раза за ротацию севооборота под калиелюбивые культуры (картофель, кормовые корнеплоды, кукурузу, подсолнечник), в паровые поля (при опасности полегания зерновых культур), а также под многолетние травы и озимые культуры для лучшей их перезимовки.

Согласно современным научным разработкам установлены следующие закономерности:

1. Растения нуждаются в азотных удобрениях при содержании в пахотном слое $N-NO_3$ ниже 16 мг/кг почвы перед уходом в зиму и весной перед посевом.

2. Внесение фосфорных удобрений необходимо при содержании в пахотном слое в мг P_2O_5 на 100 г почвы: менее 15–20 по Кирсанову на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, менее 10–15 по Чирикову на черноземах и других нейтральных почвах, менее 3,0–4,5 по Мачигину на карбонатных почвах.

3. Необходимость в калийных удобрениях возникает при содержании в пахотном слое (мг/100г почвы) K_2O : менее 15–20 по Кирсанову на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, менее 9–11 по Чирикову на черноземах и других нейтральных почвах, менее 25–30 по Кирсанову на торфяных почвах, менее 30–40 по Мачигину на карбонатных почвах.

Эффективность удобрений обуславливается также уровнем влагообеспеченности поля, а именно запасом продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы и количеством осадков в критический (по отношению к влаге) период развития культуры. Для зерновых культур критический период приходится от третьей декады мая до первой декады июля. В этот период осадки также важны для яровой пшеницы, которая размещается по пару. Отказ от применения удобрений будет обоснован, когда глубина промачивания почвы не превышает 0,5 м, а запас продуктивной влаги в этом слое ниже 60 мм. В засушливых условиях азот не действует, оказывая или угнетающее действие, либо остается в последствии. Хорошо действует фосфор и калий или один фосфор.

При пониженных температурах действует азот, причем аммиачные формы лучше, чем нитратные. Это связано с лучшим усвоением его растениями и быстрым включением в биосинтез белка и запасных веществ. Фосфор действует слабее, в основном ускоряя созревание, однако резко снижается доступность почвенных фосфатов и фосфатов удобрений из-за их съезживания в холодных условиях. Увеличение доз фосфорных удобрений не дает эффекта. На калийные удобрения лучше всего отзывается картофель, кормовые корнеплоды. Они приводят к повышению урожайности и улучшению качества. Под пшеницу калийные удобрения применяют только для борьбы с полеганием по паровым предшественникам и пласту многолетних трав.

По уровню насыщенности земледелия удобрениями выделяют следующие этапы: *стартовый (начальный), компенсационный и радикальный*.

Стартовый этап является для условий Красноярского края обязательным. Удобрения применяют в небольших дозах при посеве зерновых культур в рядки и посадке пропашных культур – в лунки. Необходимость применения стартовых доз относится к азотным и фосфорным удобрениям. Дозы удобрений составляют 10–30 кг/га д.в.

Компенсационный этап предполагает возмещение элементов питания, отчужденных с урожаем сельскохозяйственных культур. Дозы применения удобрений обуславливаются экономическими и материально-техническими условиями хозяйства, как правило, это 60–70 кг/га д.в.

Радикальный этап предполагает расширенное воспроизводство почвенного плодородия. Дозы применения удобрений увеличиваются до 120 и более кг/га д.в.

Удобрения необходимо рационально распределить между культурами севооборота с учетом следующих факторов:

- ✓ роли предшественника;
- ✓ уровня обеспеченности почвы элементами питания;
- ✓ биологических особенностей сельскохозяйственных растений и сортов;
- ✓ цели возделывания культуры (ее доходность);
- ✓ последствий удобрений;
- ✓ состава и свойств удобрений.

Содержание задания

1. Исходя из рассчитанной потребности в питательных веществах, следует:

– провести распределение органических и минеральных удобрений в севооборотах между культурами при их чередовании (табл. 27);

Таблица 27 – Распределение минеральных удобрений
в севообороте

Сево- оборот	Азот			Фосфор			Калий		
	Дозы питательных веществ по способам внесения, кг д.в.								
	Основ- ное	Пред- по- севное	Под- кормка	Основ- ное	Пред- по- севное	Припо- севное	Основ- ное	Предпо- севное	

– определить виды и формы удобрений с учетом их взаимодействия с почвой;

– выбрать технологию и приемы внесения. Для обоснования предлагаемой системы применения удобрений в севообороте необходимо изучить литературу по вопросам применения удобрений. Особенно следует познакомиться с трудами агрохимиков, работавших в Красноярском крае (Майборода Н.М., Танделов Ю.П., Ерышова О.В., Рудой Н.Г., Крупкин П.И., Антонов И.С., Ялтонский М.А., Кильби И.Я., Выручек А.А.). Эти работы опубликованы в трудах КСХИ, КНИИСХ, КрасГАУ, агрохимических лабораторий, Агрохимического центра «Красноярский», а также опытных станций и государственных сортоучастков [Пути сохранения и повышения ..., 2020].

2. После заполнения таблицы необходимо представить следующие расчеты:

1) соотношение питательных веществ в минеральных удобрениях (N , P_2O_5 , K_2O);

2) количество действующего вещества в среднем на 1 га пашни севооборота, кг: N , P_2O_5 , K_2O , навоза или химического мелиоранта.

3. В таблице 27 приводится расчет удобрений в туках (T , ц на га). Для этого доза удобрения (D , кг д.в. на 1 га) делится на содержание элементов питания в конкретном удобрении (C , %) по формуле

$$D = T/C.$$

Расчеты проводятся под каждую культуру севооборота и вносятся в соответствующие графы таблицы.

Таблица 28 – План внесения минеральных и органических удобрений в севообороте

Севооборот	Доза					Виды удобрений, формула, % д.в.	Внесено в туках (Т), ц/га			
	навоза	мелиорантов	кг д.в./ га				азотные	фосфорные	калийные	комплексные
			N	P	K					
1										
2										
Итого										

4. После распределения удобрений между культурами севооборота следует дать очень подробное агрохимическое обоснование разработанной системе удобрения.

Агрохимическое обоснование проводится в порядке чередования культур в севообороте и дается по каждой культуре с оценкой ее предшественника, особенностей питания культуры, указанием доз, сроков и способов внесения удобрений, а также их последствий. Указываются применяемые сельскохозяйственные машины и орудия для внесения удобрений под каждую культуру (табл. П.17).

Далее сообщается о процессах взаимодействия применяемых удобрений с почвой, на которой размещен севооборот. Приводится схема (реакция) взаимодействия удобрений с ППК (почвенно-поглощающим комплексом) данной почвы. Объясняется доступность питательных элементов растениям, возможность потери некоторых питательных веществ из удобрений, изменение реакции среды и т. д.

Рациональность разработанной системы удобрения необходимо подкреплять ссылками на авторов изученной литературы. Не следует объединять в одно обоснование две культуры, которые встречаются в севообороте 2–3 раза, так как они размещены по разным предшественникам, имеют разную степень обеспеченности питательными веществами, особенно азотом, и отличаются планируемой урожайностью.

Лабораторная работа 7. Приемы и технологии внесения органических и минеральных удобрений севооборота и отдельных культур

Основные теоретические положения

Приемы внесения удобрений

Существенное влияние на выбор технологии и приемов внесения удобрений оказывают:

- 1) свойства самих удобрений, их физическое состояние, концентрация в них питательных элементов;
- 2) степень подвижности питательных веществ в удобрениях, их растворимость;
- 3) особенности взаимодействия удобрений с почвенно-поглощающим комплексом;
- 4) наличие в удобрениях балластных веществ и отношение к ним сельскохозяйственных культур (Cl, SO₄, Na и т. д.).

Приемы внесения есть ни что иное, как сочетание сроков и способов внесения органических, минеральных и бактериальных удобрений, тесно связанных с агротехникой возделывания отдельных культур. Выбранный прием внесения удобрений определяет срок, глубину и пространственное размещение питательных веществ в почве.

Сроки внесения минеральных удобрений

Учитывая периодичность питания растений (критический период и период максимального потребления элементов питания), *выделяют три срока внесения удобрений*. В зависимости от времени внесения удобрений и назначения различают следующие сроки:

- 1) основное удобрение (до посева): осеннее и весеннее;
- 2) припосевное (во время посева);
- 3) подкормка (послепосевное внесение удобрений в период роста растений).

Основное удобрение предназначено:

- обеспечивать растение элементами питания на весь период его развития;
- повышать плодородие почвы;
- улучшать физические и физико-химические свойства почвы;
- стимулировать биологическую активность.

Поэтому для подавляющего большинства культур в условиях достаточного увлажнения и орошаемого земледелия оно составляет 60–90 %, а недостаточного увлажнения – 90–100 % общей дозы. В районах с гумидным климатом основное внесение фосфорно-калийных удобрений осуществляют обычно осенью под вспашку, а азотных – весной под предпосевную культивацию. В зонах достаточного увлажнения при промывном типе водного режима почв азотные удобрения с осени вносить нецелесообразно из-за высокой их растворимости и возможного вымывания. В условиях недостаточного увлажнения из-за пересыхания верхней части пахотного слоя почвы имеет преимущество глубокая заделка удобрения до посева под зяблевую вспашку.

Припосевное удобрение вносят одновременно с посевом или посадкой полевых и овощных культур непосредственно в рядки. Припосевное рядковое удобрение предназначено для удовлетворения потребностей культур в питательных элементах в период прорастания семян до появления полных всходов, поэтому редко превышает 2–10 % общей дозы и представлено водорастворимыми формами. В период от прорастания семян до образования корневой системы всходы слабо усваивают питательные вещества почвы и основного удобрения. Припосевное удобрение позволяет растениям за короткий срок сформировать хорошо развитую корневую систему, улучшает питание растений в течение всего вегетационного периода.

Виды и формы припосевного удобрения predeterminedены его назначением. В первые две недели после прорастания семян у растений наступает критический период к недостатку фосфора. Поэтому решающее значение в составе рядкового удобрения имеет фосфорное. В то же время проростки семян очень чувствительны к высокой концентрации почвенного раствора. В связи с этим непосредственно в рядки вносят в зависимости от культуры небольшие дозы удобрений (5–20 кг д.в./га).

Послепосевное удобрение (подкормку) проводят при недостаточном внесении основного удобрения, для улучшения качества продукции, удовлетворения потребностей культур, чаще всего в азоте, реже в калии, в период максимального поглощения их в течение вегетации. На долю этого приема может приходиться 20–30 % общей дозы. В большинстве случаев фосфорно-калийные подкормки вследствие мелкой заделки удобрений неэффективны и ими нельзя заменить основное удобрение. Они целесообразны только на слабообеспе-

ченных этими элементами почвах при отсутствии или недостаточном внесении основного удобрения, когда симптомы голодания растений обнаруживаются по внешним признакам. Под овощные, кормовые и пропашные культуры на легких почвах наряду с азотными возможны подкормки калийными, а под двумя последними группами культур и жидкими органическими удобрениями.

Подкормки азотными удобрениями обязательны для озимых зерновых и многолетних злаковых трав. Вышедшие после перезимовки растения ослаблены, микробиологическая деятельность в почве в этот период заторможена, растения испытывают недостаток азота. При этом внесение мочевины разбросным способом исключается из-за больших газообразных потерь азота при ее разложении. Для повышения эффективности ранневесенних подкормок и уменьшения потерь азота их не следует проводить до полного схода снега и сброса снеговой воды. Вносить азот под озимые культуры следует весной, когда растения тронутся в рост, при этом наиболее эффективна прикорневая подкормка. Прикорневую подкормку озимых культур проводят при помощи зерновых сеялок с дисковыми сошниками поперек рядков растений после схода снега и подсыхания почвы, чтобы не повредить посевы.

На посевах кукурузы азотную подкормку дают во время первой междурядной обработки, картофеля – через 10–15 дней после всходов.

Способы внесения удобрений

Действие удобрений на урожайность культур определяется не только количеством и качеством минеральных удобрений (химический состав, физическое состояние), но также от *способа* его внесения в почву.

Способ внесения (заделки) удобрения – это установленная схема размещения питательных элементов удобрения в пахотном слое почвы с помощью посадочных машин, существующих конструкций комбинированных сеялок. Учитывая, *характер распределения удобрений по площади* различают два способа внесения удобрений:

- 1) сплошное (разбросное);
- 2) местное (локальное, рядковое, ленточно-локальное, очаговое, послонное).

Выбор способа внесения удобрений зависит от того, какую задачу мы ставим: повысить плодородие почвы или удобрить конкрет-

ную культуру данного года. Если мы хотим воздействовать на почву, изменить ее во всей массе как среду для питания культурных растений, то должны стремиться к тому, чтобы все частички удобрений были равномерно расположены в почве. Если же вносимое удобрение должно явиться непосредственным источником пищи для растений, то его необходимо распределить в почве таким образом, чтобы оно было легко доступно активной части корневой системы и в то же время предохранялось от соприкосновения с поверхностью почвенных частиц, так как это может привести к понижению доступности их растению.

При сплошном внесении соответствующая доза удобрения разбрасывается равномерно по всей площади, а затем бороной, культиватором, плугом заделывается в почву и перемешивается с ней. Такой способ расположения удобрений является правильным при применении органических удобрений и при внесении извести, когда вопрос стоит не только о непосредственном питании растений, но и об улучшении физико-химических и биологических свойств почв как культурной среды для роста и развития растений. Разбросным способом вносят слаборастворимые формы удобрений: фосфоритную муку, преципитат, фосфатшлак. Внесение минеральных удобрений осуществляется с использованием рассеивателей центробежного типа: РУ-1600, РУ-7000 А, МТТ-4У; AMAZONE: ZA-M серии 2AM или ZC-B7001; BOGBALLE: M1 или DZ; BREDAL: K-45 или K-105, СУ-90. При заделке удобрений под вспашку основное их количество размещается на глубине 9–20 см, в результате чего оно малодоступно растениям в начале вегетации (рис. 1).

При заделке культиваторами и дисковыми боронами 50–90 % удобрений находится в поверхностном трехсантиметровом слое почвы, который быстро пересыхает, и питательные вещества удобрений плохо используются растением.

Преимущества разбросного внесения удобрений – высокая производительность. Однако недостатков больше. Прежде всего – неравномерность распределения по площади:

- ❖ при которой наблюдается растянутость прохождения фаз развития растений;

- ❖ биологическая и хозяйственная зрелость растений наступает не одновременно, сопровождается потерями урожая. Невыравненность по размеру и массе продукции усложняет ее переработку, снижается качество конечной продукции;

- ❖ отмечается полосная засоренность и полегание хлебов;
- ❖ основная часть удобрений находится в слое 0–4 см, который часто пересыхает, а при заделке под вспашку удобрения смешиваются с большим объемом почвы, что способствует переходу их в труднодоступное состояние;
- ❖ при неглубокой заделке происходит выдувание, смыв талыми водами или атмосферными осадками частиц удобрений, что приводит к загрязнению открытых водоемов, грунтовых вод.

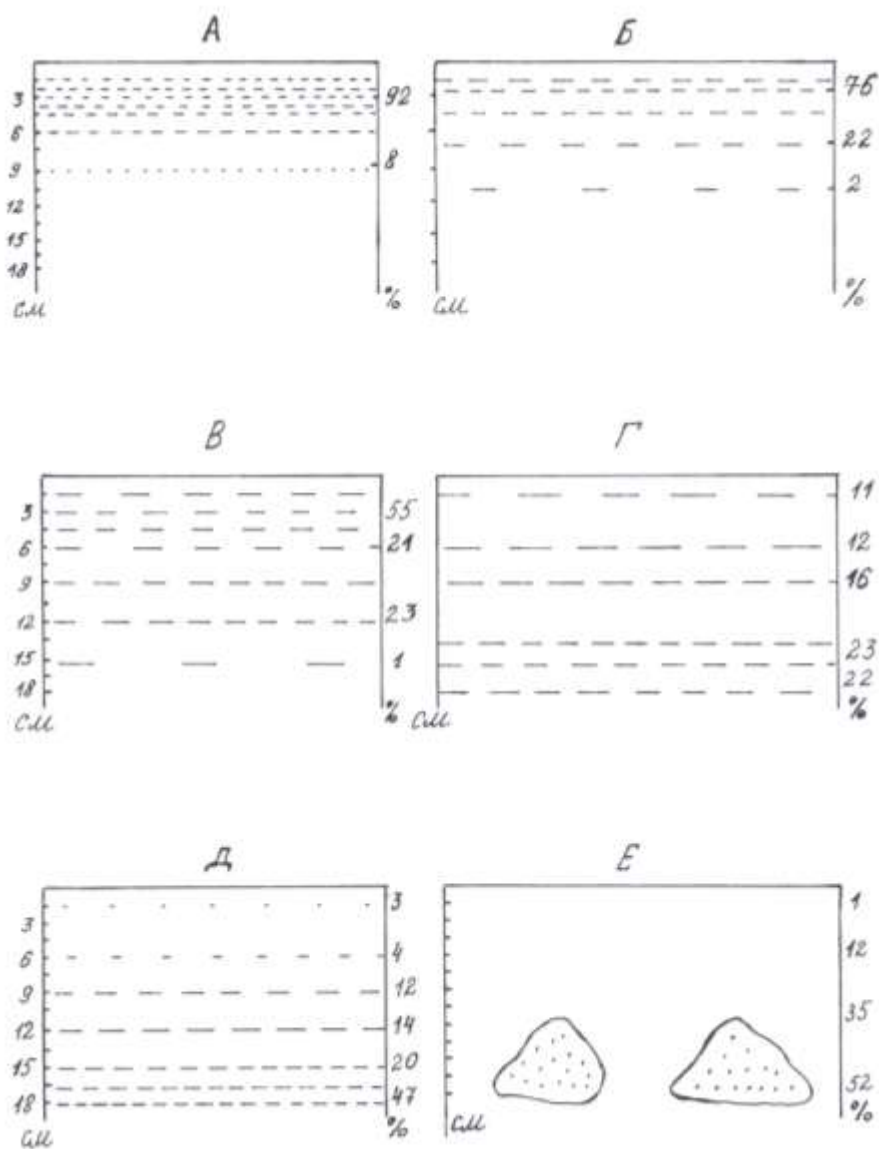


Рисунок 1 – Размещение основного удобрения при разных способах его заделки:
 А – легкой бороной; Б – тяжелой бороной; В – культиватором; Г – плугом;
 Д – плугом с предплужником; Е – культиватором-растениепитателем

Под локальным внесением удобрений имеется в виду размещение их небольшой дозы (10–15 кг д.в. на гектар) в непосредственной близости от семян, клубней или сплошными лентами под рядами расте-

ний (или сбоку), или гнездами под каждым растением – рядковое внесение (рис. 2).

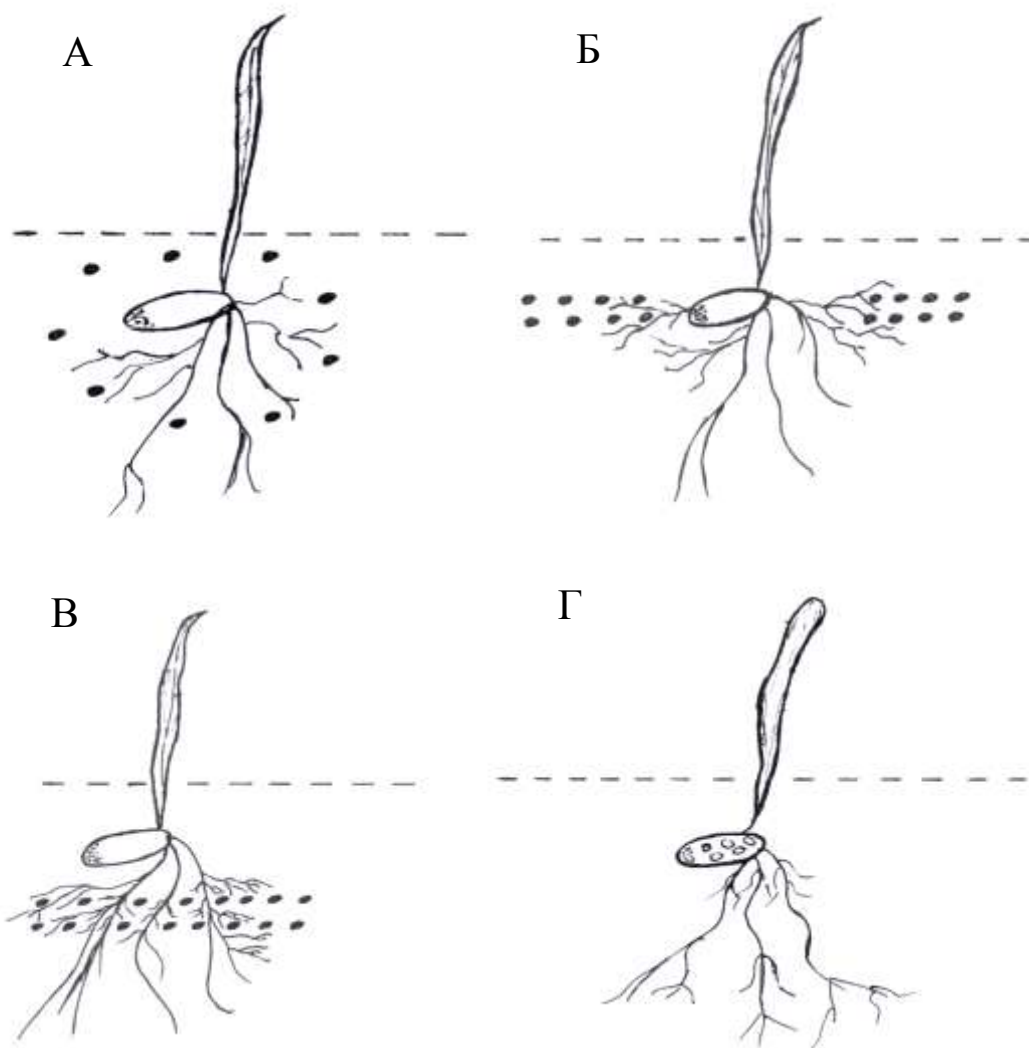


Рисунок 2 – Способы рядкового внесения удобрений:

А – удобрения контактируют с семенами; Б – удобрения изолированы от семян; В – размещение удобрений на 2–4 см ниже семени и сбоку от него; Г – инкрустация семян микроэлементами

Тем самым семена от удобрений отделяются прослойкой почвы. Такой способ внесения удобен тем, что молодые проростки растений, весьма чувствительные к повышенной концентрации солей в почвенном растворе, защищены прослойкой почвы, которая предохраняет их от непосредственного соприкосновения с образовавшейся повышенной концентрацией.

Припосевное ленточное удобрение позволяет размещать ленты удобрений на оптимальных и строго выдержанных расстояниях от рядков семян, снижает неравномерность их распределения. Ленты удобрений располагают ниже и сбоку от рядков семян.

Удобрения с семенами не контактируют, они разделены прослойкой почвы. Глубину внесения припосевного ленточного удобрения устанавливают с учетом почвенно-климатических условий. В зоне достаточного увлажнения на суглинистых почвах ленты удобрений располагают на глубине около 3 см ниже уровня размещения семян, на песчаных и супесчаных почвах подтайги и в лесостепи удобрения вносят на 3–5 см, а в засушливой степной зоне на 5–7 см глубже семян. Смещение ленты удобрения в сторону от рядка семян должно составлять 2–4 см, при узкорядном посеве зерновых (с междурядьями 6–8 см) ленты удобрений размещают посередине междурядья.

При внесении удобрения под пропашные культуры ленты должны смещаться в сторону от рядка на 2–10 см, глубина посева их на 2–7 см ниже семян. При больших дозах удобрения его размещают в две ленты, по обе стороны от рядка семян.

Локализация удобрений ускоряет появление вторичных корней у зерновых культур. Корни, находящиеся в зоне концентрации элементов питания, обеспечивают интенсивное поглощение фосфора (до 80 % от общего количества) и быстрый его метаболизм. Другие корни, не подвергаясь воздействию высоких осмотических сил, в основном поглощают влагу, обеспечивая растениям засухоустойчивость. Происходит специализация отдельных зон корневой системы, и она имеет особое значение для скороспелых сортов.

Потребление влаги при локализации удобрений снижается на 10–15 %, эффективность удобрений меньше зависит от погодных условий, а это особенно важно в земледельческих зонах, где в период всходы – кущение наблюдается засушливость.

Удобрения, внесенные близко к корням молодого растения, позволяют последнему быстро пойти в рост. Это важно для того, чтобы посевы достигли такой фазы роста, когда им менее угрожают вредители или болезни, когда они более успешно могут соревноваться с сорняками. Преимущество местного внесения по сравнению со сплошным:

- ❖ снижается связывание подвижного фосфора почвой в результате сокращения поверхности соприкосновения гранул с почвой;

- ❖ располагаясь на определенном оптимальном расстоянии относительно корней, оно лучше используется ими и оказывается значительно эффективнее;

- ❖ локализация микроудобрения путем предпосевной обработки семян растворами борной кислоты, молибденовокислого аммония,

медного купороса, кроме физиологического значения, позволяет упростить, удешевить их применение.

Классификация приемов локального внесения удобрений

Известны разнообразные модификации локального внесения удобрений. Они различаются назначением вносимого удобрения (основное, стартовое и подкормка), сроком его применения (до посева, одновременно с ним или после посева) и параметрами его размещения в почве, т. е. формой и взаимным расположением очагов удобрений (экраном – сплошным слоем, непрерывными или пунктирными лентами, разрозненными гнездами).

Локальное внесение основного удобрения обычно проводят до посева или одновременно с ним. Основное удобрение, вносимое одновременно с посевом зерновых культур, высевают в общий рядок с семенами или размещают в почве лентой сбоку и ниже рядка семян.

Первый способ требует ограничения дозы удобрения, так как размещение большого количества растворимых солей в контакте с семенами может снизить их всхожесть, особенно при недостаточной влажности почвы.

Второй способ более универсален и эффективнее первого, так как он исключает отрицательное действие высокой солевой концентрации на семена и проростки, обеспечивает благоприятные условия для роста корней в ленте удобрений.

Для внесения основного удобрения в общий рядок с семенами используют зернотуковые сеялки СЗ-3,6; СЗУ-3,6; СЗП-3,6.

В настоящее время в сельском хозяйстве Красноярского края большое применение находят пневматические централизованные высевающие системы (ПЦВС), которые обеспечивают снижение металлоемкости и повышение производительности. Универсальные посевные комплексы с одновременным внесением гранулированных удобрений: «AGRATOR DK», «AGRATOR-ANCER», Сеялка CaseIH (FlexiCoil) Flex HoeATX400 39FT (12 м) + Пневмобункер Precision Air 2230, «Кузбасс», «Kerneland Accord Insider-12-6000», широкозахватный посевной комплекс «Horsch», «Horsch Pronto 6 DC», «ТОМЬ-10», «JOHNDEERE-1830/1835».

При рядовом посеве семян с междурядьями 15 см доза калия в удобрении не должна превышать 30 кг, азота в аммонийной и нит-

ратной форме – 25–30 кг, а в форме мочевины – 15–20 кг, фосфора – 40–60 кг на 1 га.

При узкорядном и перекрестном севе допускается увеличение указанных доз в 1,5–2 раза, если обеспечивается равномерное распределение удобрений между всеми рядками семян. Вместо тукосмесей целесообразно использовать гранулированные комплексные удобрения (нитрофос, нитрофоску, нитроаммофоску), которые более качественно высеваются туковыми аппаратами сеялки.

Оптимальные условия для появления всходов, минерального питания и развития зерновых культур обеспечиваются размещением лент основного удобрения на 2–4 см в сторону от рядка семян на глубину, устанавливаемую с учетом почвенно-климатических условий.

В отдельных случаях возможно проводить внесение удобрения сразу после посева или при появлении всходов, обозначении рядков растений. Наиболее эффективно припосевное внесение удобрений.

Припосевное ленточное внесение основного удобрения позволяет расположить все рядки семян на оптимальных расстояниях от лент удобрения и тем самым уменьшить неравномерность в минеральном питании и развитии отдельных растений.

Стартовое (рядковое) удобрение вносят в рядки семян или близко к ним одновременно с посевом, используя для внесения машины ППМ-Обь-43Т, СКП-2,1 Омичка, СЗС-2,1. Назначение стартового удобрения – усилить минеральное питание растений в период от прорастания семян до образования корневой системы, способной усваивать питательные вещества из почвы и основного удобрения.

Стартовое удобрение соответственно его назначению применяют небольшими дозами (до 20 кг N, P₂O₅, K₂O на 1 га) и размещают в почве в непосредственном контакте с семенами или на расстоянии не более 2–3 см от них. Используемые для этого удобрения должны быть хорошо растворимыми в воде и легкоусвояемыми для растений.

Потребность молодых растений в фосфоре преобладает над потребностью в азоте. Поэтому в составе стартового удобрения решающее значение имеет фосфор. Азот и калий включают в стартовое удобрение только в тех случаях, когда почвенные запасы этих элементов недостаточны, а основное удобрение не применяли или вносили разбросным способом с заделкой на большую глубину и позиционно недоступно слаборазвитым корням молодых растений.

Стартовое удобрение, содержащее азотные и калийные соли или повышенные дозы фосфатов, необходимо отделять от семян неболь-

шой (2–3см) почвенной прослойкой. Это обеспечивается комбинированными сошниками кукурузных, свекловичных сеялок.

Подкормку проводят в период вегетации растений. При этом удобрения вносят *вразброс* (поверхностная подкормка) или *локально* (прикорневая подкормка). Подкормка вегетирующих растений *прикорневым способом* широко применяется на всех пропашных и озимых зерновых культурах. Прикорневую подкормку озимых зерновых культур проводят весной после схода снежного покрова и подсыхания почвы до состояния, допускающего работу тракторных агрегатов без существенного повреждения посевов и поверхности почвы (рис. 3).

Прикорневая подкормка озимых культур может выполняться зернотуковыми сеялками всех марок, оснащенными дисковыми сошниками. Лучшую заделку удобрений обеспечивают однодисковые сошники сеялки СЗО-3,6.

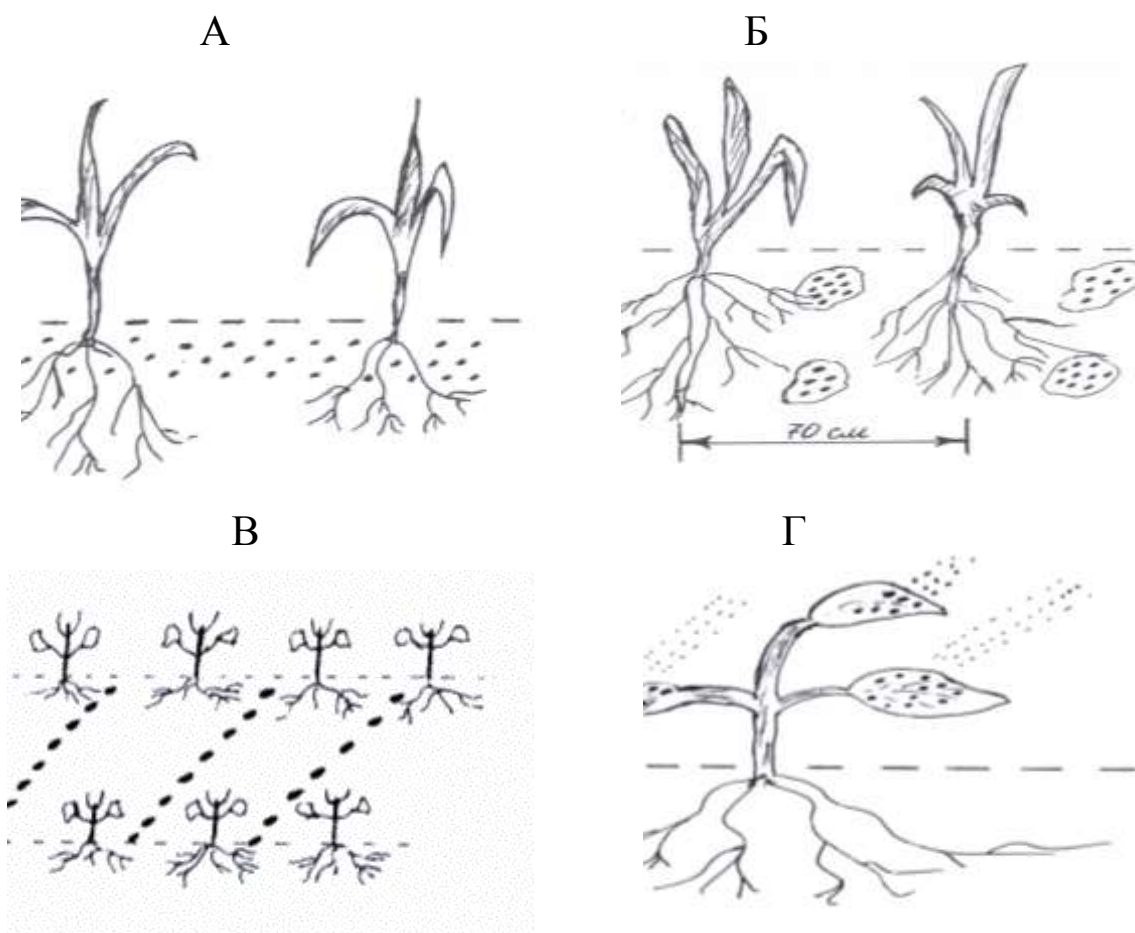


Рисунок 3 – Способы внесения подкормок:

А – разброс по поверхности; Б – локально; при междурядной обработке; В – прикорневым способом поперек рядков; Г – некорневые опрыскивания

Экраным способом (сплошным слоем) вносят основное фосфорное удобрение под зерновые культуры при плоскорезной обработке почвы в засушливой степной зоне. При этом плоскорезную (безотвальную) обработку почвы следует производить одновременно с внесением удобрений на глубину 12–16 см.

Некорневая (листовая) подкормка макроудобрениями ранее была распространена на зерновых культурах для повышения качества белка, при концентрации удобрения в растворе не выше 10–15 % и норме расхода жидкости 200–300 л/га. В настоящее время этот вид подкормки входит в сельскохозяйственную практику в расширенном виде и используется не только как азотная подкормка, но и рассматривается как способ повышения урожайности. Важно помнить, что путем обработки листа раствором невозможно дать ту дозу элементов питания, которая необходима для построения определенного количества урожая. Самое подходящее для этого удобрение – мочевины. Учитывая, что, по сути, эта форма удобрения – органическое вещество, концентрацию раствора для обработки вегетирующих растений можно увеличить вдвое и довести до 20 %.

Наиболее распространенным способом внесения микроудобрений в настоящее время является именно внекорневая подкормка, что позволяет избежать нежелательных взаимодействий элементов с почвенным раствором, дает возможность быстрого реагирования в условиях реагирования в условиях недостатка и с экологической точки зрения является более благоприятным, чем внесение в почву. Однако, эффект от листовой подкормки растений комплексными микроудобрениями будет определяться рядом условий, среди которых можно назвать состав удобрения, свойства смеси для проведения подкормки, биологическую характеристику культуры, технологию внесения листового удобрения и ряд хозяйственно-организационных факторов. Важнейшим условием является своевременность внесения. В производственной практике внесение микроэлементов чаще всего приурочивается к внесению средств защиты растений. Но эти сроки не всегда отвечают критическим фазам роста и развития растения, его реальным потребностям в элементах питания.

Технология применения минеральных удобрений

Транспортировка и внесение удобрений Агротехнические требования

При внесении твердых минеральных удобрений особое внимание уделяют правильной организации и полной механизации работ, соблюдению сроков и доз внесения удобрений.

Вносить удобрения необходимо в агротехнические сроки, соблюдать установленные дозы высева, равномерно распределять удобрения в почве или на поверхности поля. Неравномерность распределения при поверхностном внесении удобрений по всей площади поля не должна превышать 25 % для кузовных машин и 15 % – для туковых сеялок.

Не допускаются разрывы между смежными проходами машин и необработанные участки поля.

Перекрытие в стыковых проходах должно составлять 5 % от ширины захвата агрегата.

Поворотные полосы засевают удобрениями с той же дозой высева, что и основное поле.

Влажность вносимых минеральных удобрений должна обеспечивать нормальную работу дозирующих устройств. Максимальное отклонение влажности от стандартной – не более 2 %.

Выбор технологических схем

В зависимости от наличия машин, расстояния доставки удобрений в поле, дозы внесения и других факторов используют следующие технологические схемы работы агрегатов: *прямоточную, перегрузочную и перевалочную* (табл. 29).

Прямоточная технология предусматривает внесение удобрений по схеме склад – машина для внесения – поле.

Приготовленные на складе к внесению удобрения загружают погрузчиком в кузов разбрасывателя, который доставляет их в поле и распределяет по поверхности удобряемого участка. Туки транспортируют и разбрасывают одним и тем же агрегатом. Это снижает потери удобрений и простои агрегата по организационным причинам, кроме того, отпадает необходимость в дополнительных погрузочных и транспортных средствах.

**Таблица 29 – Основные операции и комплексы машин,
применяемые при различных технологических схемах
внесения минеральных удобрений**

Схема внесения удобрений	Операция	Машины и оборудование
Прямоточная	Загрузка на складах	Погрузчики ПФ-0,75, ПФП-1,2, ПЭ-0,85
	Транспортировка и внесение	Машины 1 РМГ-4, НРУ-0,5, РУМ-8, КСА-3 AMAZONE: ZA-M серии 2-AM или ZC-B7001; BOQBALLE: M1 или DZ; BREDAL: K-45 или K-105 или комбинированным агрегатом с пневмоподачей туков: СУ-900. Погрузчики ПФ-0,75, ПЭ-0,85, ПФП-1,2
Перегрузочная	Загрузка на складах Транспортировка и перегрузка в машины для внесения	Транспортные перегрузочные средства СА3-3502, ЗАУ-3 (УЗСА-40)
	Внесение	Машины РУМ-8, 1 РМГ-4, РТТ-4,2, НРУ-0,5 РУ-1600, РУ-7000А, МТТ-4У; AMAZONE: ZA-M серии 2-AM или ZC-B7001; BOQBALLE: M1 или DZ; BREDAL: K-45 или K-105 или комбинированным агрегатом с пневмоподачей туков: СУ-900.
	Загрузка на складах	Погрузчик ПФ-0,75; ПФП-1,2; ПЭ-0,85
	Транспортировка и выгрузка удобрений в кучи	Автомобили-самосвалы и тракторные самосвальные прицепы общего назначения
Перевалочная	Загрузка машин для внесения	Погрузчики ПФ-0,75, ПЭ-0,85, ПФП-1,2, ЗАУ-3 (УЗСА-40)
	Внесение	Машины РУМ-8, 1 РМГ-4, РТТ-4,2, НРУ-0,5, РУ-1600, РУ-7000А, МТТ-4У

По перегрузочной схеме склад – транспортировщик – погрузчик – машина для внесения – поле удобрения, подготовленные к внесению на складе, загружают погрузчиком в транспортно-перегрузочные средства, доставляют их в поле и затем перегружают в кузов машины для внесения. Машина при этом работает только на внесении, благодаря чему резко повышается производительность агрегата. Для доставки удобрений в поле и перегрузки их в кузовные

разбрасыватели применяют специальные автопогрузчики, а также автомобили-самосвалы с предварительным подъемом кузова. Вносить удобрения по перегрузочной технологии можно с использованием обычных автосамосвалов при наличии в поле передвижной эстакады.

Перевалочная технология предусматривает внесение удобрений по схеме склад – автосамосвал – перегрузочная площадка – машина для внесения – поле. Минеральные удобрения загружают на складе погрузчиками в автомобили-самосвалы или тракторные прицепы самосвальные, которые доставляют туки в поле и разгружают их на краю удобряемого участка на специально подготовленную площадку. Из куч удобрения погружают тракторным погрузчиком в машины для внесения, которые работают только на этом процессе. Перевалочная технология позволяет провести часть работ по доставке удобрений в поле до агротехнических сроков их внесения, но требует дополнительных транспортных и погрузочных средств.

Прямоточная и перегрузочная технологические схемы работ машин наиболее экономически выгодные и обеспечивают полную механизацию работ.

Прямоточная схема может быть рекомендована при работе кузовных машин для внесения, если места хранения удобрений расположены в пределах эффективного радиуса их использования (табл. 30).

Таблица 30 – Предельные радиусы перевозки минеральных удобрений кузовными машинами при внесении их по прямоточной технологии (площадь обрабатываемого поля 30 га)

Доза внесения удобрений, т/га	1 РМГ-4	РУМ-8	КСА-3
0,1	28,0	45,0	61,1
0,2	14,0	22,0	44,7
0,3	10,0	14,0	30,4
0,4	7,6	11,0	25,1
0,5	6,5	8,0	19,3
0,6	5,5	6,1	18,8
0,7	5,0	6,0	17,0
0,8	4,9	5,0	16,2
0,9	4,5	4,9	14,3
1,0	4,0	4,0	13,7

При больших радиусах применяют перегрузочную и перевалочную схемы. Перевалочную технологическую схему применяют при отсутствии специальных перегрузочных средств типа СА3-3502, эстакад, УЗСА-40.

Внесение удобрений. Подготовка поля

1. Поле освобождают от препятствий, мешающих нормальной работе агрегатов. Неустранимые и малозаметные препятствия (глубокие ямы, канавы, овраги) ограждают или отмечают предупредительными знаками и об этом заранее сообщают трактористу.

2. Перед началом работ выбирают целесообразную схему работы машин и устанавливают наиболее выгодное направление рабочих ходов агрегатов, учитывая состояние поверхности почвы. Движение агрегата должно совпадать с направлением предшествующей вспашки или движением уборочных машин.

3. При выбранном направлении движения агрегата на поле отмечают поворотные полосы и провешивают линию первого прохода. Ширину поворотной полосы выбирают в зависимости от состава агрегата и способа движения. В тех случаях, когда повороты агрегата можно делать за пределами поля, поворотные полосы не отбивают.

4. При выборе длины гона учитывают, что машины для внесения минеральных удобрений относятся к группе машин с ограниченным запасом рабочего хода, так как их емкости требуют периодической загрузки. Наилучшие условия для работы агрегатов создаются, когда запас рабочего хода (длина пути, проходимого агрегатом в рабочем положении между двумя очередными загрузками) достаточен на движение агрегата до конца гона и обратно. Запас рабочего хода агрегата зависит от дозы внесения удобрений рабочей ширины разбрасывания.

5. Для каждого из указанных случаев в зависимости от технологической схемы работы машин существуют свои целесообразные варианты разбивки поля.

6. При подготовке поля для работы по прямоточной технологии руководствуются общими требованиями. Кроме того, при разметке поля, у которого длина гона примерно равна запасу рабочего хода, учитывают состояние подъездных путей и расположение поля относительно места заправки. Если место заправки находится в направлении движения агрегата, то поле разбивают на два участка и обрабатывают сначала один участок, а затем – другой. При этом длина участка должна составлять половину запаса рабочего хода. Если место заправки расположено в направлении, перпендикулярном движению агрегатов, и имеются подъездные пути к обоим концам поля, то его на участки не разбивают, а агрегат заезжает на поле с одного из

его концов, движется до противоположного конца поля, затем подъезжает к месту заправки, и процесс повторяется. В этом случае длина обрабатываемого участка должна быть равной запасу рабочего хода агрегата.

7. При работе разбрасывателей по перегрузочной схеме с использованием перегрузчиков типа САЗ-3502 подготовка поля и выбор способов движения агрегатов зависят не только от соотношения длины гона и пути разбрасывания, но и от способности перегрузчиков передвигаться по полю. Если перегрузчики могут свободно проходить по полю, его размечают, руководствуясь общими требованиями к разметке полей, а агрегаты заправляют в различных местах.

Если движение перегрузчиков по полю затруднено, то агрегаты заправляют на границах поля, а само поле размечают в соответствии с требованиями по подготовке полей для прямоточного способа работы, исходя из соотношения длины гона к запасу рабочего хода агрегата.

8. При работе машин по перевалочной технологической схеме руководствуются общими требованиями к разметке полей, учитывая соотношение длины гона к запасу рабочего хода и место расположения заправки, как и по прямоточной схеме.

Работа агрегатов на загоне

1. Перед началом работы агрегат переводят из транспортного положения в рабочее. При необходимости опускают ветрозащитное устройство до горизонтального положения и располагают агрегат на поворотной полосе по линии первого прохода, обозначенной вешками. Включают разбрасывающие рабочие органы.

2. Выбор способа движения агрегатов зависит от размера поля и эксплуатационных данных машин, входящих в состав агрегата. Основной способ движения односеялочных агрегатов, кузовных и навесных центробежных машин – челночный. Вследствие большой рабочей ширины захвата центробежных машин трактористу трудно выполнить следующий проход агрегата, обеспечив при этом нужное перекрытие. Зная рабочую ширину захвата машины при внесении данного вида удобрений, тракторист ведет агрегат в стороне от следа колес предшествующего прохода на расстоянии, равном половине ширины захвата.

3. На полях с малой длиной гона, а также при работе широкозахватных агрегатов (трех-, четырех- и пяти сеялочных) целесообразен

загонный способ движения, как наиболее выгодный. В этом случае сокращается ширина поворотной полосы по сравнению с челночным способом примерно на 30–40 %.

4. В процессе работы агрегат необходимо вести прямолинейно с перекрытием предыдущего прохода и сохранением постоянного интервала между смежными проходами. Скорость движения агрегата при внесении удобрений машиной РУМ-8 должна быть постоянной и соответствовать той, при которой проводилась регулировка на дозу внесения.

5. При работе с машинами 1 РМГ-4 и КСА-3 допускается маневрирование скоростями.

Контроль и оценка качества

Контроль и оценку качества работ по внесению минеральных удобрений проводят при настройке агрегатов периодически в процессе выполнения работы, а также при приемке-сдаче после окончания работ. Оценка качества внесения удобрений приведена в таблице 31.

Таблица 31 – Оценка качества внесения удобрений

Показатель	Способ замера	Градации нормативов	Балл
Отклонение от дозы внесения, %	Включают подающий механизм для заполнения высевной щели. После этого подстилают или подвешивают брезент и в течение 1 минуты машину прокручивают. Высеянные удобрения взвешивают. Операцию повторяют не менее трех раз	До ±5 До 10 Более 10	3 2 0
Неравномерность высева удобрений, %	Противни расставляют на ширину рабочего захвата агрегата. Удобрения, собранные с каждого противня, взвешивают, и результаты заносят в ведомость. Операцию повторяют не менее трех раз	До 10 До 25 Более 25	3 2 1
Перекрытие стыковых проходов, % от ширины захвата	Не менее трех раз вешкой отмечают ширину первого прохода, замером определяют ширину второго прохода	До 3 До 5 Более 5	3 2 0

Комиссия проверяет объем и качество выполненных работ и составляет акт.

Технологии внесения жидких удобрений

Выбор наиболее рациональных технологий внесения жидких удобрений является важным фактором, определяющим эффективность их использования, доступность питательных веществ для корневых систем растений, оптимальную дозировку, номенклатуру используемых технических средств.

Применяемые в настоящее время технологии внесения жидких удобрений различаются по способу внесения удобрений, удаленности полей и технологическим схемам его выполнения [Соловьева, 2010].

В зависимости от способа выполнения основной технологической операции – внесения – различают поверхностное и внутрипочвенное распределение жидких удобрений.

Поверхностное сплошное внесение осуществляется с помощью штанговых опрыскивателей или специализированных машин.

Из жидких азотных удобрений для поверхностного внесения пригодны растворы, применяемые при обычном давлении (ЖКУ, КАС, аммиакаты). Они могут разбрызгиваться по поверхности почвы или при точном учете их концентрации, а также стадии развития растений, даже на посевах. Поверхностным способом нельзя вносить жидкий и водный аммиак.

Поверхностный способ является наименее эффективным и экономичным, так как машины неравномерно распределяют удобрения по участку поля, в результате чего может произойти неравномерный рост и созревание растений и связанная с этим пестрота урожая, снижение его качества. Наряду с этим при сплошном поверхностном внесении минеральных азотных и жидких органических удобрений происходят значительные потери азота из-за вымывания, денитрификации и освобождения газообразного аммиака (до 15–40 %).

Более рационально *поверхностное локальное* внесение удобрений – их распределяют по поверхности почвы концентрированными очагами, преимущественно в виде лент различной ширины, после чего заделывают в почву различными почвообрабатывающими орудиями. Наиболее рациональным и экологически безопасным способом внесения жидких удобрений является *локальный внутрипочвенный*. В соответствии с агротехническими требованиями при его использовании фактическая средняя доза удобрения должна отличаться от заданной не более чем на $\pm 10\%$.

Поверхностное внесение жидких минеральных удобрений (КАС, ЖКУ, водный аммиак) может осуществляться по прямоточной, перевалочной и перегрузочной технологиям (рис. 4).

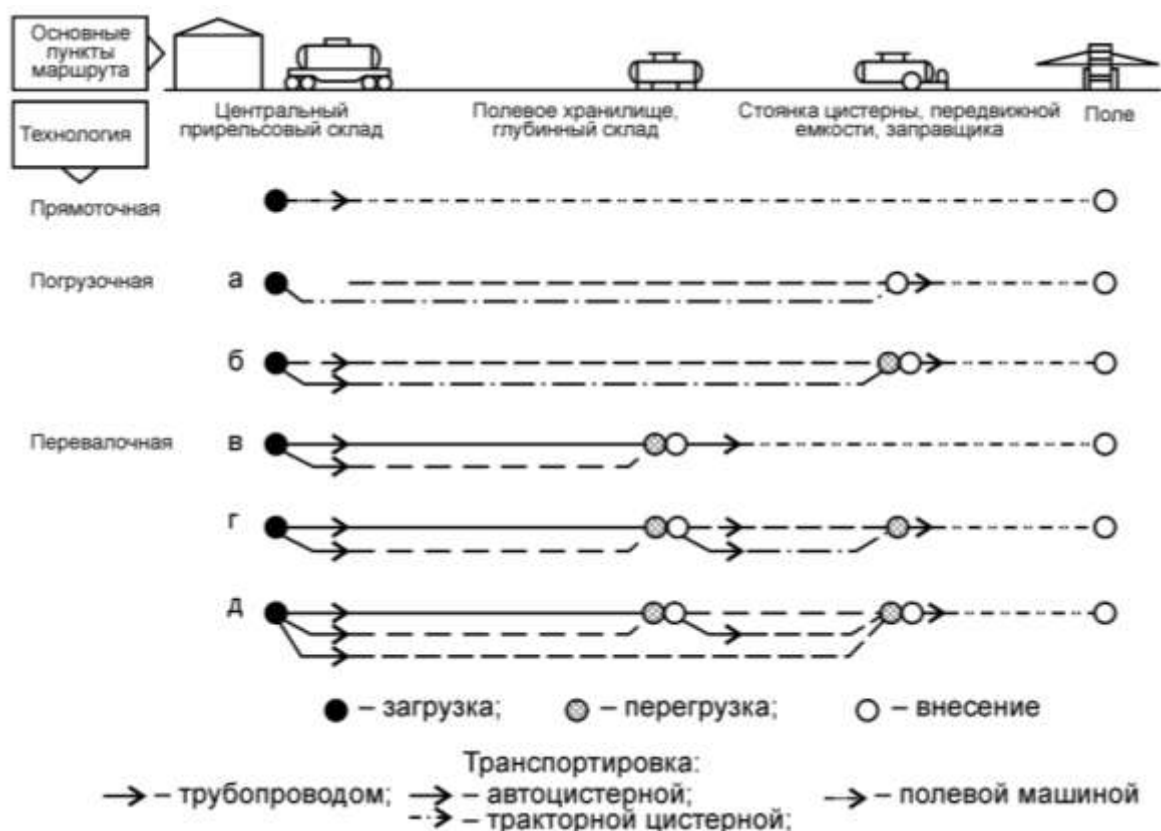


Рисунок 4 – Технологическая схема транспортировки и внесения ЖКУ и КАС

Для внутрипочвенного (локального) внесения таких удобрений используют перегрузочную и перевалочную технологические схемы. При *прямоточной* схеме ЖМУ на центральном складе удобрений их загружают в машину для внесения, транспортируют до обрабатываемого поля и вносят на поверхность почвы или внутрипочвенно. Ее целесообразно использовать, когда расстояние от склада до поля не превышает 3–4 км при поверхностном и 5–10 км при внутрипочвенном внесении удобрений.

Перегрузочная схема. Жидкие удобрения после доставки на поле перегружают из транспортной емкости в машины для внесения ЖМУ. Рекомендуется применять при расстоянии от склада до поля 10–15 км.

Перевалочная схема. ЖМУ, доставляемые из центрального склада, большегрузными транспортными средствами или по трубопроводу перегружают в стационарное или передвижное полевое хранилище. Машины для внесения ЖМУ заправляются самостоятельно

или с помощью промежуточного перегрузчика (заправщика). Перевалочную технологию целесообразно применять на больших площадях, так как на малых участках нужно часто передвигать емкости с одного поля на другое.

Для жидкого аммиака в связи с особенностями его физико-химических свойств наиболее экономически выгодной считается работа по схеме: завод – автоцистерна – поле. Однако работа по этой схеме требует более четкой организации труда как по доставке, так и по внесению удобрений. Она применяется при радиусе транспортировки удобрений не более 40 км. При увеличении зоны обслуживания от 40 до 100 км используют схему с глубинным складом: завод-автоцистерна – глубинный склад – тракторная цистерна – поле.

Однако большинство потребителей удалены от заводов-поставщиков на расстояние более 100 км, что повышает оптимальные радиусы автомобильных перевозок, поэтому основной объем работ выполняют по схемам:

- завод – железнодорожная цистерна – прирельсовый склад – тракторная цистерна (автоцистерна) – поле;
- завод – железнодорожная цистерна – прирельсовый склад – автоцистерна – глубинный склад – тракторная цистерна поле.

Технические средства для внесения жидких удобрений

Конструкция технических средств для внесения жидких минеральных удобрений зависит от их вида, способов агрегатирования и внесения удобрений относительно поверхности почвы.

Для поверхностного внесения ЖМУ могут использоваться самоходные, прицепные и навесные штанговые опрыскиватели, специализированные самоходные и прицепные машины.

С учетом современных требований сельскохозяйственного производства для сплошного поверхностного внесения ЖМУ используют самоходные опрыскиватели на базе вездеходов или универсальных энергетических средств (САХ-2, САХ-3, САХ-6, ОПШ-0,5, «Рубин-4», «Варяг», «Ботаник»), оснащенных шинами сверхнизкого давления, что позволяет существенно снизить уплотнение пахотного слоя почвы и расход топлива, обеспечить возможность высокопроизводительной работы на более ранних стадиях роста сельскохозяйственных культур.

Внутрипочвенное внесение ЖМУ совмещается с операциями по основной обработке почвы или с посевом сельскохозяйственных

культур. В связи с этим агрегаты для внесения ЖМУ состоят из емкости для жидких удобрений, посевного или почвообрабатывающего агрегата и специального подкормочного приспособления. Среди последних моделей машин следует отметить подкормщик ПТ-480, культиватор КЛ-4,2 с оборудованием для ленточного внесения жидких удобрений, удобрительные комплексы УКМТ к комбинированным посевным агрегатам «Дончанка», подкормщики жидкими удобрениями серии ПЖУ ООО «Агрохиммаш».

Для реализации технологии ленточного внесения жидкого безводного аммиака предлагается использовать комбинированные агрегаты серии Dalton, Hardi Master VHY/Z, Hardi Commander Classic отвечающим современным требованиям по щадящей обработке почвы, оснащенных инжекторами для внесения аммиака, регуляторами-дозаторами, датчиками расхода безводного аммиака и датчиком скорости.

Содержание задания

1. Рассчитайте агрономическую эффективность предлагаемой системы применения органических и минеральных удобрений в севооборотах. Агрономическая эффективность применения удобрений за ротацию севооборота показывает окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений прибавкой урожая в зерновых эквивалентах. Она рассчитывается по формуле

$$O_y = P_y / \Sigma NPK,$$

где O_y – окупаемость урожая в кг зерновых единиц на 1 кг действующего вещества удобрений;

P_y – суммарная прибавка урожая сельскохозяйственных культур за севооборот в зерновых единицах, кг;

ΣNPK – сумма питательных веществ органических и минеральных удобрений за севооборот, кг.

2. Для выявления эффекта от применения удобрений необходимо сопоставить стоимость полученной продукции с затратами на ее производство при использовании удобрений и без них.

При определении стоимости продукции учитывают количество основной продукции (зерно, клубни, корнеплоды, сено, льноволокно, льносемена) и побочной – (солома, мякина, ботва и т.д.). Обязательно

учитывается качество продукции – содержание белка и клейковины в зерне, сахаристость сахарной свеклы, содержание крахмала и товарность клубней картофеля, стандартность овощей и т. п.

Продукция, которая получена за счет удобрений, оценивается по ценам фактической реализации. Урожай кормовых культур и побочной продукции (например, соломы) оценивают через стоимость 1 ц кормовых единиц, которая приравнивается к цене 1 ц овса.

Расчет экономической эффективности использования удобрений в севообороте (табл. 32) производится в среднем на 1 гектар.

Таблица 32 – Экономическая эффективность применения удобрений в севообороте на 1 гектар

Номер	Показатель	Числовой результат
1	Прибавка урожая, т	
2	Стоимость 1 т зерна, тыс. руб.	
3	Стоимость минеральных удобрений, тыс. руб.: азотные _____ фосфорные _____ калийные _____ комплексные _____	
4	Затраты на транспортировку, погрузо-разгрузочные работы, хранение и внесение минеральных удобрений, тыс. руб.	
5	Стоимость хранения и внесения _____ т навоза, тыс. руб.	
6	Итого затрат по применению удобрений, тыс. руб. (п.3+п.4+п.5)	
7	Затраты на уборку дополнительного урожая, тыс. руб.	
8	Всего затрат, тыс. руб. (п.6+п.7)	
9	Чистый доход, тыс. руб. (п.2-п.8)	
10	Рентабельность, % ($i.9 / i.8 \cdot 100$)	

Закупочные цены на сельскохозяйственную продукцию, стоимость удобрений и затрат на их применение берется по последним данным на момент расчетов из-за высокой динамичности цен на внутреннем рынке.

Чистый доход равен разности между стоимостью прибавки урожая и суммы затрат на приобретение и применение удобрений, а также уборке дополнительной продукции.

Рентабельность – частное от деления чистого дохода на все затраты и умноженное на 100 для перевода показателя в %.

3. Проведите сравнительный анализ полученных данных.

4. Подготовьте к семинару доклад и презентацию разработанных технологических карт системы применения удобрений.

ИТОГОВЫЕ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Категории почвенного плодородия:

- а) активное;
- б) эффективное;
- в) потенциальное;
- г) реальное.

2. Уровень эффективного плодородия определяется:

- а) количеством биоты, населяющим почву;
- б) урожайностью растений;
- в) количеством внесенных удобрений;
- г) содержанием питательных элементов.

3. Уровень потенциального плодородия определяется:

- а) урожайностью растений;
- б) запасами необходимых питательных веществ, агрофизическими и агрохимическими свойствами почв;
- в) запасами гумуса;
- г) мелиоративными приемами, направленными на улучшение свойств почвы.

4. Плодородие, созданное человеком, называется:

- а) актуальное;
- б) эффективное;
- в) искусственное;
- г) пассивное.

5. Факторы, снижающие плодородие почв в таежной зоне:

- а) низкая температура воздуха;
- б) большое количество осадков;
- в) почвообразующие породы;
- г) древесная растительность.

6. Элемент питания, определяющий рост вегетативной массы растений:

- а) фосфор;
- б) сера;
- в) азот;
- г) калий.

7. Плодородие, формирующееся в результате природного почвообразовательного процесса:

- а) эффективное;
- б) потенциальное;
- в) естественное;
- г) искусственное.

8. Фактор, лимитирующий почвенное плодородие, не имеющий антропогенную природу:

- а) переуплотненная почва;
- б) вторичное засоление;
- в) реакция среды;
- г) дегумификация почвы.

9. Наиболее опасная форма почвоутомления:

- а) лессиваж;
- б) дефляция;
- в) оглеение;
- г) аллелопатия.

10. Элемент питания, эффективно влияющий на засухо- и морозоустойчивость растений:

- а) кальций;
- б) магний;
- в) калий;
- г) азот.

11. Почвы, значительно изменяющиеся в процессе окультуривания:

- а) черноземы;
- б) подзолистые;
- в) темно-каштановые;
- г) темно-серые лесные.

12. Прием улучшения гумусного состояния черноземов в лесостепи:

- а) фосфорные удобрения;
- б) противоэрозийная обработка;
- в) чистые пары;
- г) пропашные культуры.

13. Факторы, лимитирующие плодородие серых лесных почв Средней Сибири:

- а) эрозионные процессы;
- б) наличие кремнезема;
- в) содержание гумуса;
- г) реакция среды.

14. Какой компонент триады И.Л. Герасимова отсутствует в почке: факторы → _____ → свойства:

- а) морфология;
- б) состав;
- в) процессы;
- г) геометрия.

15. Свойства почвы, определяющие уровень обеспеченности растений кислородом:

- а) влагоемкость;
- б) структура;
- в) буферность;
- г) теплопроводность.

16. Основной прием воспроизводства плодородия в земледелии:

- а) вспашка;
- б) генезис;
- в) бонитировка;
- г) севооборот.

17. Органические удобрения на основе отходов животноводства:

- а) подстилочный навоз;
- б) бесподстилочный навоз;
- в) птичий помет;
- г) торф;
- д) сапропель.

18. Органические удобрения на основе природного органического сырья:

- а) сапропель;
- б) солома;
- в) навоз;
- г) торф.

19. Органические удобрения на основе продукции растениеводства:

- а) торф;
- б) солома;
- в) ботва;
- г) компост.

20. Биологически активный компонент для компостирования:

- а) кора;
- б) лигнин;
- в) фекалии.

21. Инертный компонент для компостирования:

- а) солома;
- б) птичий помет;
- в) навоз.

22. Смешивание навоза с фосфоритной мукой:

- а) усиливает разложение навоза;
- б) переводит фосфор в доступное состояние;
- в) увеличивает количество питательных веществ.

23. Смешивание торфа с известью:

- а) снижает кислотность;
- б) увеличивает качество извести;
- в) повышает кислотность торфа.

24. Смешивание лигнина с фосфоритной мукой приводит:

- а) к растворению фосфора;
- б) химическому поглощению;
- в) осаждению.

25. Торф, используемый для подстилки скота:

- а) верховой;
- б) переходный;
- в) низинный;
- г) луговой.

26. Сырье, которое содержит много отмерших водорослей:

- а) цеолит;
- б) вермикомпост;
- в) сапропель;
- г) бентонит.

27. Способ хранения навоза, при котором обеспечивается наибольшее сохранение азота и органического вещества:

- а) горячий (рыхлый);
- б) холодный (плотный);
- в) рыхло – плотный.

28. Удобрения, внесение которых под свеклу и морковь может привести к разветвлению и ухудшению формы корнеплодов:

- а) полуперепревший навоз;
- б) комплексные удобрения;
- в) слабоперепревший навоз;
- г) перегной.

29. Напишите примерную систему удобрения для следующих севооборотов:

пар	люцерна	овес + горох
озимая рожь	люцерна	пшеница
горох	люцерна	кормовые корнеплоды
овес	пшеница	пшеница

30. Орудие, при заделке которым удобрения располагаются в почве широкой лентой:

- а) СЗС – 2,1;
- б) СЗП – 3,6;
- в) КРН – 4,2;
- г) ГУН – 8.

31. Удобрения, которые лучше вносить в качестве припосевного удобрения:

- а) мочевины;
- б) хлористый калий;
- в) аммиачную селитру;
- г) суперфосфат.

32. Лучший срок подкормки белокочанной капусты калийными удобрениями:

- а) всходы;
- б) образования розетки листьев;
- в) интенсивного роста кочана;
- г) при высадке рассады.

33. Цель, с которой применяют поздние некорневые подкормки раствором мочевины:

- а) повышение сахаристости свеклы;
- б) белковости зерна пшеницы;
- в) урожая овощных и бахчевых культур.

34. Лучший срок и способ внесения азотных туков при удобрении сенокосов:

- а) рано весной вразброс по поверхности почвы;
- б) перед первым укосом вразброс;
- в) перед вторым укосом локально;
- г) осенью, после второго укоса локально;
- д) осенью, после второго укоса вразброс.

35. Период, в течение которого происходит поглощение азота кукурузой:

- а) до созревания;
- б) до выметывания метелки;
- в) от всходов до кущения;
- г) во второй половине вегетации.

36. Период вегетации, в которой картофель наиболее требователен к азоту:

- а) до цветения;
- б) после цветения;
- в) во время всходов;
- г) в период созревания.

37. Основное удобрение рассчитано на использование его:

- а) в первый период жизни;
- б) критический период жизни;
- в) период созревания;
- г) течение всего периода вегетации.

38. Период вегетации озимой ржи, на который приходится максимум потребления питательных веществ:

- а) в фазу всходов;
- б) кущения и выхода в трубку;
- в) налива зерна;
- г) молочной и восковой спелости;
- д) в период налива зерна до полной спелости.

39. Период вегетации, в который капуста наиболее требовательна к азоту:

- а) до начала завязывания кочана;
- б) в период прорастания;
- в) до всходов;
- г) во время формирования кочана.

40. Период у злаков, который является критическим в отношении калийного питания:

- а) первые 15 дней после всходов;
- б) от колошения до цветения;
- в) молочной спелости до созревания;
- г) кущения до выхода в трубку.

41. Культуры, наиболее чувствительные к хлорсодержащим калийным удобрениям:

- а) яровая пшеница, ячмень;
- б) картофель, табак;
- в) кукуруза подсолнечник;
- г) просо, овес;
- д) люцерна, клевер.
- е) происходит побурение растений.

42. Период у зерновых, который является критическим в отношении фосфорного питания:

- а) первые 15 дней после всходов;
- б) 25–40 дней после всходов;
- в) фаза цветения;
- г) фаза колошения.

43. Припосевное удобрение применяют:

- а) в первый период жизни;
- б) критический период;
- в) период созревания;
- г) течение всего периода вегетации.

44. Период, в который заканчивается поглощение калия яровой пшеницей:

- а) до фазы трубкования;
- б) перед наливом зерна;
- в) к фазе цветения (или колошения);
- г) до фазы кущения;
- д) до восковой спелости.

45. В какую фазу развития растениями подсолнечника используется около 70 % фосфора и калия:

- а) в фазу цветения;
- б) формирования и налива семян;
- в) активного роста;
- г) от фазы всходов до цветения.

46. Прием, повышающий урожай плодов огурца на 35–40 %:

- а) подкормка азотом;
- б) внесение органических удобрений;
- в) подкормка калийными удобрениями;
- г) подкормка фосфорными удобрениями.

47. Допустимая суточная доза нитратов для человека, установленная Всемирной организацией здравоохранения (мг):

- а) 200–250;
- б) 300–350.

48. Запрещается внесение минеральных удобрений на территории первого пояса санитарной зоны охраны источников водоснабжения:

- а) в любые сроки;
- б) при непосредственной угрозе паводка.

49. Весенняя подкормка азотом озимых культур и многолетних трав проводится:

- а) до схода снега;
- б) после схода снега

50. Допустимое отклонение фактической дозы внесения органических удобрений от заданной дозы (%):

- а) менее 5;
- б) 6–10;
- в) менее 15.

51. При недостатке удобрений более рационально применять их на почвах с плодородием:

- а) низким;
- б) средним;
- в) повышенном.

52. Допустимый интервал между распределением органических удобрений на поверхности поля и заделкой его в почву (часов):

- а) 2;
- б) 12;
- в) 24.

53. Наиболее широко используется для сидерации на почвах Сибири:

- а) донник;
- б) люпин;
- в) рапс.

54. При запашке соломы целесообразно внести удобрение:

- а) азотное;
- б) калийное.

55. На полях с запаханной соломой целесообразно разместить культуры:

- а) злаки;
- б) бобовые;
- в) крестоцветные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плодородие почвы – интегрирующий системный показатель почвенных процессов и свойств с заключенным в нем результатом длительного периода почвообразования. Почвы, выполняя важнейшие экологические функции, нуждаются в настоящий период в оздоровлении и увеличении продуктивности [Добровольский, 2012]. Масштабы деградации и патологии почв вызывают серьезную озабоченность.

Для эффективного использования удобрений необходимо искать новые пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур, рентабельности применения удобрений и экологической сохранности окружающей среды. Необходимо разрабатывать агротехнологии разного уровня интенсификации. С точки зрения современных вызовов агрохимической науке проекты, разрабатываемые без учета всего комплекса агротехнологических решений, не имеют практического интереса.

Предлагаемая структура учебной дисциплины требует углубленного освоения обучающимся материала, решение ситуационных и познавательных задач. Это позволит приобрести им навыки и умения, необходимые в профессиональной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимическая характеристика почв СССР. Средняя Сибирь / под ред. А. В. Соколова, Н. В. Орловского. – Москва: Наука, 1971. – 271 с.
2. Белоусова, Е. Н. Система рационального использования и охраны земель: учебное пособие / Е. Н. Белоусова. – Красноярск, 2020. – 143 с.
3. Бондарев, А. Г. Проблема регулирования физических свойств почв в интенсивном земледелии / А. Г. Бондарев // Почвоведение. – 1988. – № 9. – С. 64–69.
4. Бугаков, П. С. Агрономическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края / П. С. Бугаков, В. В. Чупрова. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 1995. – 176 с.
5. Васильев, В. А. Справочник по органическим удобрениям / В. А. Васильев, Н. В. Филиппова. – Москва: Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
6. Вередченко, Ю. П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края / Ю. П. Вередченко. – Москва: АН СССР, 1961. – 272 с.
7. Возбуцкая, А. Е. Химия почвы: учебное пособие / А. Е. Возбуцкая. – Москва: Высшая школа, 1968. – 427 с.
8. Воспроизводство гумуса как составная часть системы управления плодородием почвы: метод. пособие / И. Н. Шарков, А. А. Данилова, А. С. Прозоров [и др.]. – Россельхозакадемия: ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства. – Новосибирск, 2010. – 36 с.
9. Ельников, И. И. О развитии исследований по агроэкологической оценке почв с применением методов почвенно-растительной диагностики / И. И. Ельников, О. Б. Рогова // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. – Материалы первой Всероссийской открытой конференции. – Москва: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2014. – С. 347–352.
10. Ефимов, В. Н. Система удобрений: учебник / В. Н. Ефимов, И. Н. Донских, В. П. Царенко. – Москва: Колос, 2003. – 320 с.
11. Заславский, М. Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия / М. Н. Заславский – Москва: Высшая школа, 1987. – 376 с.

12. Кильби, И. Я. Временные методические рекомендации по расчету баланса гумуса в почвах, потребности и обеспеченности органическими удобрениями колхозов и совхозов Красноярского края / И. Я. Кильби, Н. Е. Лосюков, В. В. Чупрова. – Красноярск, 1986. – 21 с.
13. Кирюшин, В. И. Агротехнологии: учебник / В. И. Кирюшин, С. В. Кирюшин. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 464 с.
14. Коляго, С. А. О структуре и оструктуривании почв / С. А. Коляго // Труды Томского университета. – Томск, 1954. – Т. 130.
15. Концепция сохранения и повышения плодородия почв Красноярского края на период 2006–2010 гг. / Ю. П. Танделов [и др.]. – Красноярск, 2005. – 49 с.
16. Крупкин, П. И. Черноземы Красноярского края / П. И. Крупкин. – Красноярск: Изд-во гос. ун-та, 2002. – 314 с.
17. Кудеяров, В. Н. Оценка питательной деградации пахотных почв России / В. Н. Кудеяров // Вестник Российской академии наук. – 2015. – Том 85. – № 9. – С. 771–775.
18. Лачуга, Ю. Ф. Приветственное слово к участникам конференции. – Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование / Ю. Ф. Лачуга. – Материалы первой Всероссийской открытой конференции. – Москва: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2014. – С. 347–352.
19. Майборода, Н. М. Программирование урожайности полевых культур: учебное пособие / Н. М. Майборода, Л. К. Тупикова, Л. П. Столяр, В. Ф. Терехова. – Красноярск, 2000. – 69 с.
20. Майборода, Н. М. Расчет удобрений на планируемый урожай культур при интенсивных технологиях / Н. М. Майборода. – Красноярск, 1988.
21. Майборода, Н. М. Средства химизации на планируемый урожай в условиях Красноярского края / Н. М. Майборода. – Красноярск, 1991.
22. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства: рекомендации / ВАСХНИЛ. – Москва, 1983. – 24 с.
23. Минеев, В. Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В. Г. Минеев, Е. Х. Ремпе. – Москва: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.
24. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. – Москва, 1990. – 486 с.
25. Муравин, Э. А. Агрохимия: учебник / Э. А. Муравин. – Москва: Колос, 2003. – 384 с.

26. Новоселов, С. И. О методических подходах к расчету баланса гумуса в севообороте / С. И. Новоселов // Агрохимия. – 2020. – № 10. – С. 28–35.
27. Панников, В. Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 512 с.
28. Пискунов, А. С. Методы агрохимических исследований / А. С. Пискунов. – Москва: Колос, 2004. – 312 с.
29. Постников, А. В. Химизация сельского хозяйства / А. В. Постников. – Москва: Росагропромиздат, 1989. – 223 с.
30. Практикум по агрохимии: учебное пособие / под ред. Б. А. Ягодина. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 511 с.
31. Прянишников, Д. Н. Избранные труды / Д. Н. Прянишников. – Москва: Наука, 1976. – 591 с.
32. Пути сохранения и повышения плодородия почв Красноярского края: научно-практические рекомендации / Е. В. Алхименко, Е. Н. Белоусова, О. Н. Вебер, В. К. Ивченко [и др.]. – Красноярск, 2020. – 48 с.
33. Рекомендации по определению доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры на планируемый урожай / под ред. П. И. Крупкина, И. А. Макриновой, В. К. Пурлаура, И. Я. Кильби [и др.]. – Красноярск, 1987. – 24 с.
34. Рудой, Н. Г. Агрохимия почв Средней Сибири / Н. Г. Рудой. – Красноярск, 2003. – 167 с.
35. Рудой, Н. Г. Производительная способность почв Приенисейской Сибири / Н. Г. Рудой. – Красноярск, 2010. – 240 с.
36. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: научно-практические рекомендации / под общ. ред. С. В. Брылева. – Красноярск, 2015. – 224 с.
37. Соловьева, Н. Ф. Жидкие удобрения и современные методы их применения / Н. Ф. Соловьева. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2010. – 76 с.
38. Сорокина, О. А. Система применения удобрений: учебное пособие / О. А. Сорокина, Е. Н. Белоусова. – Красноярск, 2020. – 132 с.
39. Сорокина, О. А. Состояние химизации земледелия на примере применения удобрений в Российской Федерации и Красноярском крае / О. А. Сорокина // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 9. – С. 9–17.
40. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – Москва: РАН, 2019. – 328 с.

41. Танделов, Ю. П. Особенности кислых почв Красноярского края и эффективность известкования: учебное пособие / Ю. П. Танделов, О. В. Ерышова. – Красноярск, 2003. – 147 с.
42. Танделов, Ю. П. Особенности применения минеральных удобрений в новых экономических условиях / Ю. П. Танделов, Н. М. Майборода. – Красноярск, 2002. – 22 с.
43. Танделов, Ю. П. Плодородие почв и эффективность удобрений в Средней Сибири / Ю. П. Танделов. – Москва, 1998. – 302 с.
44. Танделов, Ю. П. Состояние плодородия пахотных почв Приенисейской Сибири и эффективность удобрений / Ю. П. Танделов, Е. И. Волошин, О. В. Ерышова, В. В. Штундюк. – Москва, 1997. – 69 с.
45. Танделов, Ю. П. Черноземы Красноярского края и проблема известкования / Ю. П. Танделов, О. В. Ерышова. – Красноярск, 2005. – 20 с.
46. Титова, В. И. Особенности системы применения удобрений в современных условиях / В. И. Титова // *Агрохимический вестник*. – 2016. – № 1. – С. 2–7.
47. Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В. В. Церлинг. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
48. Чупрова, В. В. База данных по плотности сложения почв земледельческой территории Красноярского края / В. В. Чупрова, Н. Л. Ерохина // *Вестник КрасГАУ*. – 1999. – № 5. – С. 84–91.
49. Чупрова, В. В. Оценка агроэкологического состояния почв, вовлеченных в разработку песчано-гравийных карьеров Канского района Красноярского края / В. В. Чупрова, А. А. Белоусов, Е. Н. Белоусова, Ю. В. Горбунова // *Вестник КрасГАУ*. – 2019. – № 3 (144). – С. 16–21.
50. Шеуджен, А. Х. Агрохимические основы применения удобрений / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, С. В. Кизинек. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. – 572 с.
51. Юлушев, И. Г. Почвенно-агрохимические основы адаптивно-ландшафтной организации систем земледелия ВКЗП: учебное пособие / И. Г. Юлушев. – Москва: Академический Проект, 2005. – 368 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1 – Группировка почв по степени гумусированности пахотного слоя (содержание гумуса, %)

Класс по степени гумусированности			
< Минимального содержания	Слабогумусированные	Среднегумусированные	Сильногумусированные
Светло-серые лесные			
< 2,0	2,0–2,9	3,0–3,9	> 3,9
Серые лесные			
< 3,0	3,0–4,0	4,1–5,0	>5,0
Темно-серые лесные, черноземы оподзоленные, выщелоченные, обыкновенные			
< 4,0	4,0–5,0	5,1–6,0	> 6,0

Таблица П.2 – Обеспеченность почв доступным азотом в зависимости от содержания гумуса и предшественника, оценка ее в классах

Предшественник	Содержание гумуса в почве		
	менее 5% – подзолистые и серые лесные	5–10 % – черноземы, темно-серые лесные, 3–5 % – каштановые	более 10 % – черноземы, лугово- черноземные почвы
Зерновые по чистому пару	4	5	6
Зерновые по занятому пару	3	4	4
Зерновые по раннему пласту многолетних трав	4	5	6
Зерновые по позднему пласту многолетних трав	2	3	4
Зерновые по обороту пласта	2	3	4
Зерновые по удобренным пропашным	2	3	4
Зерновые по зернобобовым	2	3	3
Зерновые по зерновым	1	1	2
Пропашные по обороту пласта	2	3	3
Пропашные по зерновым	1	1	2
Пропашные по пропашным	2	3	3
Пропашные по занятому пару	2	4	4
Многолетние травы по зерновым	1	1	2
Многолетние травы по многолетним травам	2	3	5
Вторая зерновая по чистому пару	1	1	2

Таблица П.3 – Шкала потребности растений в азотных удобрениях в зависимости от содержания в почве нитратного азота (N-NO₃)

Группа	Содержание нитратного азота	N-NO ₃ , мг/кг	Оценка плодородия	Потребность в удобрениях
1	Очень низкое	< 4,0	низкое	высокая
2	Низкое	4,1-8,0		
3	Среднее	8,1-12,0	среднее	средняя
4	Повышенное	12,1-16,0		
5	Высокое	16,1-20,0	высокое	низкая
6	Очень высокое	> 20,1		

Примечание: 7-й и 8-й классы только для овощных культур.

Таблица П.4 – Содержание подвижного фосфора в почвах разных почвенно-климатических зон, мг/100 г

Группа	Содержание подвижного фосфора	P ₂ O ₅ , мг/кг			Оценка плодородия	Потребность в удобрениях
		Метод Чирикова	Метод Кирсанова	Метод Мачигина		
Для почв степного типа Ачинско-Боготольской, Чулымо-Енисейской, Канской, Красноярской лесостепи						
1	Очень низкое	< 25	–	–	Низкое	Высокая
2	Низкое	26–50	–	–		
3	Среднее	51–100	–	–	Среднее	Средняя
4	Повышенное	101–150	–	–		
5	Высокое	151–200	–	–	Высокое	Низкая
6	Очень высокое	> 200	–	–		
Для почв степного типа Минусинской лесостепи						
1	Очень низкое	< 100	–	–	Низкое	Высокая
2	Низкое	101–150	–	–		
3	Среднее	151–200	–	–	Среднее	Средняя
4	Повышенное	201–250	–	–		
5	Высокое	251–300	–	–	Высокое	Низкая
6	Очень высокое	> 300	–	–		
Для почв подзолистого типа всех почв края						
1	Очень низкое	–	< 50	–	Низкое	Высокая
2	Низкое	–	51–100	–		
3	Среднее	–	101–150	–	Среднее	Средняя
4	Повышенное	–	151–200	–		
5	Высокое	–	201–250	–	Высокое	Низкая
6	Очень высокое	–	>250	–		
Для карбонатных почв всех зон края						
1	Очень низкое	–	–	< 10	Низкое	Высокая
2	Низкое	–	–	11–20		
3	Среднее	–	–	20–30	Среднее	Средняя
4	Повышенное	–	–	31–45		
5	Высокое	–	–	46–60	Высокое	Низкая
6	Очень высокое	–	–	> 60		

Таблица П.5 – Группировка почв по содержанию обменного калия в условиях Красноярского края

Группа	Содержание подвижного фосфора	K ₂ O, мг/кг			Оценка плодородия	Потребность в удобрениях
		Метод Чирикова	Метод Кирсанова	Метод Мачигина		
Для почв степного типа всех зон края						
1	Очень низкое	< 50	–	–	Низкое	Высокая
2	Низкое	51–70	–	–		
3	Среднее	71–90	–	–		
4	Повышенное	91–110	–	–	Среднее	Средняя
5	Высокое	111–150	–	–		
6	Очень высокое	> 150	–	–	Высокое	Низкая
Для почв подзолистого типа всех почв края						
1	Очень низкое	–	< 50	–	Низкое	Высокая
2	Низкое	–	51–100	–		
3	Среднее	–	101–150	–		
4	Повышенное	–	151–200	–	Среднее	Средняя
5	Высокое	–	201–300	–		
6	Очень высокое	–	> 300	–	Высокое	Низкая
Для карбонатных почв всех зон края						
1	Очень низкое	–	–	< 100	Низкое	Высокая
2	Низкое	–	–	101–200		
3	Среднее	–	–	201–300		
4	Повышенное	–	–	301–400	Среднее	Средняя
5	Высокое	–	–	401–600		
6	Очень высокое	–	–	> 600	Высокое	Низкая

Таблица П.6 – Примерный коэффициент использования влаги культурами по зонам Красноярского края

Зона	Коэффициент
Тайга, подтайга	0,70
Лесостепь	0,65
Степь	0,60

Таблица П.7 – Примерные запасы продуктивной влаги (ПВ) в почве перед посевом культур по зонам Красноярского края в зависимости от предшественников (данные КрасГАУ, КНИИСХ, Гидрометслужбы)

Предшественник	Запасы ПВ в слое 1 м, мм	
	Колебания	Среднее
1	2	3
Тайга, подтайга		
Пар чистый	220–260	240
Пар занятый	190–230	210

Окончание табл. П.7

1	2	3
Пропашные	180–200	190
Зерновые	120–160	140
Многолетние травы	130–160	150
Лесостепь		
Пар чистый	205–230	210
Пар занятый	170–210	190
Пропашные	150–190	170
Зерновые	100–160	120
Многолетние травы	110–170	130
Степь		
Пар чистый	180–200	190
Пар занятый	140–180	160
Пропашные	130–170	150
Зерновые	90–140	110
Многолетние травы	100–140	120

Таблица П.8 – Среднее многолетнее количество осадков в условиях Красноярского края (данные Гидрометеослужбы)

Метеостанция	Осадки за период от посева (посадки) до созревания культуры, мм		
	Яровые зерновые, кукуруза на силос	Рожь озимая	Картофель, корнеплоды
Боготол	200	280	220
Дзержинское	150	200	170
Идринское	190	280	220
Казачинское опытное поле	210	240	220
Тюхтет	190	250	210
Ермаковское	220	270	250
Крутояр	200	260	240
Шарыпово	220	240	230
Уяр	180	230	200
Ирбейское	180	220	200
Балахта	190	230	220
Каратуз	220	250	230
Шира	190	–	200
Бея	200	–	230
Сухобузимо	180	220	200

Таблица П.9 – Расход влаги на формирование 1 ц основной и побочной продукции, мм (КрасГАУ, 1960–1992 гг.)

Культура	Без удобрений	При внесении удобрений
1	2	3
Тайга, подтайга		
Пшеница, ячмень	9–11	7–8
Овес	10–11	8–9
Корнеплоды	0,7–0,8	0,6–0,7

Окончание табл. П.9

1	2	3
Картофель	1,3–1,5	1,1–1,2
Силосные	0,9–1,0	0,7–0,8
Однолетние травы	7–8	5–6
Лесостепь		
Пшеница, ячмень	10–11	8–9
Овес	10–12	9–10
Корнеплоды	0,8–0,9	0,6–0,7
Картофель	1,5–1,8	1,2–1,3
Силосные	1,0–1,1	0,7–0,9
Однолетние травы	8–9	6–7
Степь		
Пшеница, ячмень	12–14	9–11
Овес	13–15	10–12
Корнеплоды	0,9	0,7
Картофель	1,8	1,5
Силосные	1,1	1,0
Однолетние травы	10–11	8–9

Таблица П.10 – Коэффициенты перевода продукции растениеводства в зерновые единицы

Продукция	Коэффициент перевода
Пшеница, рожь, ячмень	1,00
Зернобобовые, гречиха, рис	1,40
Овес	0,80
Просо	0,90
Подсолнечник	0,40
Картофель, овощные, бахчевые	1,44
Кормовые корнеплоды	0,20
Сено однолетних трав	0,40
Сено многолетних трав	0,50
Кукуруза (силос)	0,17
Прочие силосные культуры	0,12

Таблица П.11 – Примерное количество навоза, получаемого в год от взрослого животного, т

Животные	Продолжительность стойлового периода, дни			
	240–220	220–200	200–180	Менее 180
Подстилочный навоз				
Крупный рогатый скот	9–10	8–9	6–8	4–5
Лошади	7–8	5–6	4–4,5	2,5–3
Овцы	1,0	0,9	0,6–0,8	0,4–0,5
Свиньи	1,5–2,0	1,2–1,5	1,0–1,2	0,8–1,0
Бесподстилочный навоз				
Крупный рогатый скот	3	2,5	2,0	1,5
Свиньи	0,5	0,3	0,25	0,2

Таблица П.12 – Годичное поступление птичьего помета от 1 головы (кг) и его химический состав, % на сырое вещество

Вид птицы	Выход помета	С использованием подстилки	Влажность	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Куры	6–7	30	75	1,5	1,4	0,5	1,1
Утки	7–9	35–40	83	0,6	0,8	0,3	1,0
Гуси	10–12	50–60	83	0,6	0,5	0,8	0,6
Индейки	10–11	48–52	75	0,7	0,6	0,5	0,6

Таблица П.13 – Химический состав свежего навоза, % на сырое вещество (Красноярская и Ачинско-Боготольская лесостепь, ФГУП ЦГАС «Красноярский»)

Вид органического удобрения	Влажность	Зольность	Органическое вещество	pH	Содержание		
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз КРС:							
– подстилочный	78,7	5,8	17,5	8,2	0,43	0,24	0,33
– бесподстилочный	83,6	3,2	13,2	8,0	0,39	0,16	0,26
– на гидросмыве	95,7	1,0	3,3	7,6	0,16	0,05	0,17
Свиной:							
– бесподстилочный	76,2	2,8	21,0	7,1	0,77	0,20	0,22
– подстилочный	75,6	3,5	20,0	6,8	1,00	0,39	0,66
Овечий	66,4	0,8	34,8	8,7	1,01	0,34	1,55
Конский	73,7	4,9	21,4	7,5	0,52	0,29	0,53

Таблица П.14 – Коэффициенты использования питательных веществ из органических удобрений

Вид удобрения	Год действия	Коэффициенты использования, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз	1	20–25	25–35	30–40
Компосты	2	10–15	15–20	20–25
Зеленое удобрение	3	5–10	5–10	10–15

Таблица П.15 – Вынос элементов питания с урожаем культур
(средние данные КНИИСХ, КрасГАУ, ФГУП ЦГАС «Красноярский»)

Культура	Основная продукция	Отношение основной продукции к побочной	Вынос на 1 ц основной продукции, кг		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Пшеница яровая	Зерно	1:1,4	3,5	1,4	2,5
Рожь озимая	Зерно	1:1,7	3,0	1,4	2,6
Овес	Зерно	1:1,5	3,0	1,4	2,5
Ячмень	Зерно	1:1,5	3,0	1,3	2,4
Гречиха	Зерно	1:1,8	3,0	1,6	4,0
Горох	Зерно	1:1,5	6,8	1,9	3,0
Вика	Зерно	1:1,6	6,6	1,8	2,8
Просо	Зерно	1:1,8	3,3	1,0	3,4
Кукуруза	Зерно	1:2,0	0,4	0,1	0,4
Картофель	Клубни	1:1,2	0,66	0,36	0,9
Лен-долгунец	Волокно	1:6,0	8,0	4,0	7,0
	Семена	1:8,0			
Люцерна в цвету	Сено	–	2,6	1,1	2,2
Клевер	Сено	–	2,5	1,0	2,1
Кострец безостый	Сено	–	1,6	0,8	2,4
Однолетние травы	Сено	–	2,0	0,8	2,4
Сахарная свекла	Корнеплоды	1:1,0	0,6	0,2	0,75
Кормовая свекла	Корнеплоды	1:1,0	0,4	0,13	0,46
Капуста поздняя	Кочаны	5:1,0	0,42	0,15	0,7
Томаты	Плоды	1,5:1,0	0,3	0,28	0,37
Огурцы	Плоды	4:1	0,4	0,2	0,5
Морковь	Корнеплоды	1:1	0,21	0,13	0,43
Свекла столовая	Корнеплоды	1:1	0,4	0,16	0,65
Лук	Луковица	1,2:1,0	0,2	0,14	0,29
Редис	Корнеплоды	1,2:1,0	0,32	0,14	0,34

Таблица П.16 – Поправочный коэффициент к дозам удобрений
в зависимости от содержания продуктивной влаги в почве
перед посевом культур

Содержание продуктивной влаги в метровом слое почв, мм	Поправочный коэффициент
100–130	0,9
130–160	1,0
160–200	1,1
200–250	1,2

Таблица П.17 – Характеристика приемов обработки почвы
(Едимеичев, 1994; Едимеичев, Шпагин, 2014)

Номер	Приемы обработки почвы	Орудия обработки почвы	Технологическая операция	Условия применения
1	2	3	4	5
Основная обработка почвы				
1	Вспашка	ПЛН-3-35 ПЛН-4-35 ПЛН-5-35 ПЛН-6-35 ПЛН-9-35 ПВН-3-35 ПН-8-35 EUROPAL EUROTITAN ПТК-9-35	Оборачивание, крошение, рыхление и перемешивание, заделка удобрений, сорняков, возбудителей болезней	На тяжелых почвах, засоренных многолетними сорняками в системе зяблевой обработки под кукурузу, картофель после многолетних трав в лесостепи и подтайге
2	Безотвальное рыхление	Штанговый культиватор КШН-3,6; культиваторы-плоскорезы КПЭ-3,8; КПШ-9	Рыхление, перемешивание почвы, подрезание сорняков с оставлением стерни	В степных районах для сплошной предпосевной культивации
3	Плоскорезное глубокое – 25–27 см рыхление	Плоскорезы глубокорыхлители КПК-250 КПК-2-150 ГУН-4		Применяют в степных засушливых районах, подверженных ветровой эрозии взамен отвальной вспашки
4	Чизелевание	Плуги-чизели ПЧ-4,5 ПЧ-3,5 КПК-2-150 КПК-2,2 ПЛН-5-35 ПКЧ-(4+1)-50М ПЧ-4,5 Chir ПЧ-10,01	Рыхление при частичном перемешивании	Для сплошного глубокого (20-40 см) рыхления почвы без ее оборачивания, а также на малоплодородных почвах для углубления пахотного слоя
5	Двухъярусная обработка	Двухъярусный плуг Чикалики ПЯ-3-35 Плуг с вырезными отвалами П-3-30У	Оборачивание верхней части пахотного слоя и одновременное рыхление нижней части или перемещение верхнего слоя на место нижнего	На подзолистых почвах, оборачивание и перемешивание 2-х горизонтов почвы. Для разделки пласта многолетних трав.
6	Фрезерование	Фрезы ФБН-0,9 ФБН-1,6 Культиватор-фреза КФГ-3,6	Интенсивное рыхление и тщательное перемешивание	На дерново-подзолистых почвах с применением извести, органических удобрений

Продолжение табл. П.17

1	2	3	4	5
7	Плантажная вспашка	Плантажные плуги до 40 см	Те же, что и при вспашке	Для окультуривания песчаных и супесчаных почв
Приемы предпосевной обработки				
1	Боронование	БИГ-3А БЗСС-1 БЗСТ-1	Рыхление, перемешивание, выравнивание поверхности почвы с частичным уничтожением сорняков	Весной для закрытия влаги по стерне
2	Культивация с боронованием и выравниванием	КПС-4 КПЭ-3,8 КТС-10	Рыхление, перемешивание почвы, подрезание сорняков	В системе предпосевной обработки почвы
3	Прикатывание	ЗКК-6А	Уплотнение, крошение глыб, выравнивание поверхности	Боронование, прикатывание перед посевом
4	Шлейфование	ШВ-2,5	Выравнивание поверхности почвы	Перед посевом
Приемы послепосевной обработки почвы				
1	Прикатывание	КЗК-10	Уплотнение почвы	После посева всех культур
2	Боронование до всходов и после всходов	БЗСС-1 БСО-4 ЗПБ-0,5	Уничтожение нитевидных проростков	При сильном засорении
3	Междурядная культивация	КРН-5,6	Подрезание сорняков, рыхление	
4	Окучивание	КОН-2,8		
Приемы послепосевной обработки				
1	Щелевание	Щелеватели ЩН-2-140 ГР-2,7 ПЩ-3 ПЩ-5 ЩН-5-40	Прорезание в почве щелей для перевода поверхностного стока во внутренний для накопления влаги и защиты почвы от водной эрозии	На склоновых землях осенью
2	Кротование	Плуг, оборудованный кротователем	Обработка почвы, обеспечивающая образование отверстий в горизонтальном направлении Для отвода излишней воды в подпахотный слой	
Послеуборочные обработки				
1	Дискование	С-11У+3КПС-4Г КПП-8 JOHNDEERE 726 БДТ-3,	Рыхление, перемешивание, частичное оборачивание	На биологически взрыхленных почвах (картофель, кукуруза)

Продолжение табл. П.17

1	2	3	4	5
		БДТ-7 ЛДГ-5 ЛДГ-10 КПП-2,2 КПГ-2-150 КПШ-9		
Посевные комплексы				
1	Основная и предпосевная, посев полосой 12–15 см, прикатывание полосы посева	«Агромастер12200» (культиваторного типа для прямого посева и минимальной технологии возделывания зерновых культур)	Разделка почвы или стерни, подготовка семенного ложе, посев полосой 12–15 см, боронование посевов, вычесывание сорняков и прикатывание полосы посева	Семена и удобрения распределяются широкой полосой в 15 см, что увеличивает площадь питания в 4 раза и снижает вредное воздействие удобрений в начальной стадии развития
2	Предпосевная культивация, боронование, посев, внесение удобрений, прикатывание, выравнивание почвы	«Кузбасс»	Предпосевная культивация, боронование, посев, внесение удобрений, прикатывание, выравнивание почвы	Предназначен для возделывания сельскохозяйственных культур по минимальной технологии обработки почвы. Посев как по стерневому фону без предварительной подготовки, так и фонам, обработанным по традиционной технологии отвальной вспашки
3	Посев широкого спектра сельскохозяйственных культур (от зернобобовых до технических мелкосеменных) в диапазоне норм высева от 3 до 340 кг/га; прикатывание семян.	«Томь-10»	Разделка почвенного пласта, измельчение органических остатков, качественное формирование борозды в условиях повышенной влажности	Позволяет высевать широкий спектр сельскохозяйственных культур (от зернобобовых до технических), обеспечивает равномерность размещения семян по глубине

Продолжение табл. П.17

1	2	3	4	5
4	Посев, внесение стартовых доз удобрений совместно с семенами, а также повышенных норм азотных удобрений в отдельную борозду, прикатывание семян.	Джон Дир-1895	Посев и внесение стартового удобрения в любых почвенно-климатических условиях, не требуется предпосевная подготовка почвы	Предназначен для работы по нулевой технологии
5	Предпосевная культиваторная подготовка почвы с заделыванием органических и минеральных удобрений	«Терминатор»	Обработка почвы на глубину до 15 см, рыхление и выравнивание почвы, подрезание сорняков	Предназначен для хозяйств со смешанной системой земледелия, которые применяют как предпосевную подготовку почвы с заделыванием органических и минеральных удобрений, так и посев по минимальной технологии
6	Внесение порошковых, жидких удобрений, посев и прикатывание семян сельскохозяйственных культур.	«Horsch-Агро-Союз»	Обработка почвы до, во время и после посева, весеннее сыпучих, жидких видов удобрений в подсеменной слой почвы и прикатывание	Предназначена для высева семян зерновых и мелкосеменных культур для прямого посева, а также на почве, подготовленной в соответствии с агротехническими требованиями к предпосевной обработки во всех почвенно-климатических зонах на уклонах до 8°, кроме зон горного земледелия
7	Посев может производиться по необработанному полю с отказом от всех видов механической обработки или в предварительно обработанную почву.	«Kernel and Accord Insider-12-6000»	Широкополосный посев семян зерновых, зернобобовых и мелкосеменных культур с одновременным внесением гранулированных минеральных удобрений	Предназначен для посева полевых культур во всех почвенно-климатических зонах на уклонах до 8°

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ

Учебное пособие

Белоусова Елена Николаевна

Электронное издание

Редактор М. М. Ионина

Подписано в свет 06.10.2022. Регистрационный номер 20
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117
e-mail: rio@kgau.ru