

На правах рукописи

Лапухин Тимофей Петрович

ОГБ ОД
25 МАЯ 2000

**СИСТЕМА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ
В ПОЛЕВЫХ СЕВООБОРОТАХ НА КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ
СУХОЙ СТЕПИ ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Специальность – 06.01.04. – Агрохимия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Барнаул
2000

Работа выполнена в Бурятском научно-исследовательском институте сельского хозяйства Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук

Научный консультант - академик РАСХН, доктор биологических наук, профессор **Г.П.Гамзиков**

Официальные оппоненты- доктор сельскохозяйственных наук, профессор **С.Ф.Спицына**
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Н.М.Майборода**
- доктор сельскохозяйственных наук **В.К.Каличкин**

Ведущая организация – Бурятская государственная сельскохозяйственная академия

Защита диссертации состоится 17 мая 2000 г. в 12 час. на заседании специализированного совета Д.120.01.01. в Алтайском государственном аграрном университете (656099, г. Барнаул-99, Красноармейский пр., 98).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного аграрного университета.

Отзывы на автореферат двух экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по указанному адресу ученому секретарю специализированного совета.

Автореферат разослан 12 апреля 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук,
профессор

В.А.Рассыпнов

В.А.Рассыпнов

1040.11, 0
119 (2р54,7) 040, 0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Решение проблемы повышения урожайности и улучшения качества продукции сельскохозяйственных культур в сухой степи Забайкалья неразрывно связано с необходимостью оптимизации питания растений, систематического повышения потенциального и эффективного плодородия каштановых почв с помощью применения минеральных и органических удобрений. По мере освоения интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, а, следовательно, увеличения объемов применения удобрений, все большее значение приобретает всестороннее изучение направленности и интенсивности развития процессов в системе почва-растение и разработки основных приемов по их управлению. Конечной целью этих исследований является обеспечение максимальной отдачи от вложенных средств, получение наибольшей продуктивности культур, сохранение плодородия почв и равновесия в ландшафтах.

В условиях постоянно растущих цен на промышленные туки и увеличение материальных и трудовых затрат при внесении местных органических удобрений, первостепенное значение приобретает поиск наиболее экономически выгодных и низко затратных технологий их использования. Это требует нового комплексного подхода к изучению закономерностей взаимодействия удобрений с почвой и растениями, их влияния на урожайность, качество продукции, плодородие почвы, круговорот и баланс питательных веществ в агроценозах.

Все вышеуказанное крайне актуально для земледелия сухой степи Забайкалья и примыкающих территорий с малоплодородными каштановыми почвами, доля которых в пахотном фонде составляет около 50 % и на которых возделываются ведущие сельскохозяйственные культуры. Недостаток влаги и доступных элементов питания на этих почвах, как правило, лимитирует урожайность и качество продукции. Агрохимические особенности каштановых почв региона, ограниченный набор возделываемых культур, высокая потребность растений в питательных веществах за короткий период вегетации, дефицитный режим увлажнения обуславливают крайнюю необходимость разработки и внедрения в практику оптимизированных ресурсосберегающих систем земледелия в целом и, несомненно, систем применения удобрений.

Следовательно, своевременное решение проблемы оптимизации

ции питания сельскохозяйственных культур в севооборотах имеет приоритетное научное и практическое значение в развитии сельскохозяйственного производства территорий, расположенных в засушливой степной зоне.

Цель и задачи исследований. Цель работы заключалась в совершенствовании теоретических основ и разработке практических приемов регулирования почвенного плодородия, оптимизации питания растений и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур на основе экологически и экономически сбалансированных систем применения удобрений в короткоротационных севооборотах сухой степи.

Задачами исследований предусматривалось изучение особенностей действия норм и сочетаний удобрений при длительном применении в севооборотах на агрохимические показатели почвы; установление основных закономерностей действия и последствия возрастающих доз минеральных и органических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции; определение количественных параметров выноса, расхода и использования растениями питательных веществ из удобрений; установление структуры баланса элементов питания в системе растение-почва-удобрение в севооборотах; разработка приемов повышения эффективности минеральных удобрений в севообороте; изучение экологических и экономических аспектов длительного применения удобрений в севооборотах.

Научная новизна. Для условий сухой степи Забайкалья решена важная народнохозяйственная проблема по регулированию плодородия каштановых почв и стабилизации продуктивности севооборотов. Получена новая информация об особенностях эффективного действия минеральных и органических удобрений при длительном систематическом применении (1967-1997 гг.) в севооборотах. Изучены гумусное состояние, азотный, фосфорный и калийный режимы каштановых почв при различных системах применения удобрений в севообороте. Выявлены факторы, ограничивающие эффективность различных систем оптимизации питания культур в севообороте и дано теоретическое обоснование приемам рационального использования удобрений. Определен баланс питательных веществ в севообороте при различных уровнях насыщения удобрениями. Установлены коэффициенты использования растениями элементов питания из удобрений и количественные параметры общего выноса и затрат азо-

та, фосфора и калия на создание единицы продукции. Впервые дана комплексная оценка минеральным, органоминеральным и органическим системам применения удобрений в севооборотах сухостепной зоны и предложены эффективные приемы их использования в земледелии региона.

Защищаемые положения:

Основные закономерности и изменения эффективного и потенциального плодородия почв в зависимости от агротехнических, погодных факторов и систематического длительного применения удобрений.

Теоретические положения и практические приемы систем применения минеральных и органических удобрений в севооборотах, обеспечивающих воспроизводство плодородия почв, рост продуктивности сельскохозяйственных культур при сохранении экологической сбалансированности агроландшафтов.

Комплексная (агрономическая, экономическая и биоэнергетическая) оценка систем применения минеральных и органических удобрений в севообороте.

Практическая ценность и реализация результатов исследований. Разработанные системы применения минеральных удобрений на каштановых почвах сухой степи позволяют эффективно использовать ресурсный климатический потенциал для получения высокой продуктивности севооборотов. Это даёт возможность при выполнении зональной технологии возделывания сельскохозяйственных культур направленно регулировать плодородие почвы и получать на богаре урожай зерна овса и пшеницы - 22 и 35 ц/га, зеленой массы кукурузы и зерносенажной массы овса - 122 и 165 ц/га. При поливе урожайность картофеля, корнеплодов и зеленой массы кукурузы может быть доведена соответственно до 180, 630 и 220 ц/га.

Разработанные приемы повышения эффективности минеральных удобрений позволяют за счет применения оптимальных норм удобрений и способов их внесения в севообороте, а также подбора высокоурожайных сортов повысить продуктивность культур севооборотов на 60-100%, получая оплату 1 кг внесенного питательного вещества 6-10 кг зерна.

Материалы исследований использованы при разработке рекомендаций по рациональным технологиям возделывания зерновых культур и вошли составной частью в системы земледелия (1982, 1989) и в системы ведения сельского хозяйства в Бурятии (1985, 1996).

Разработанные и рекомендованные системы применения удоб-

рений освоены в полевых севооборотах ОПХ-ГПЗ "Иволгинское" (1984-1997), ряде хозяйств Кижингинского (1987-1991), Баргузинского (1994-1996), Еравнинского (1993-1994) районов. Внедрение систем удобрений в этих хозяйствах в комплексе с зональной технологией обеспечивает стабильность зернового производства по годам, а также повышения продуктивности гектара пашни на 2-3 ц зерна по сравнению с соответствующими районными и республиканскими показателями.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на научных и научно-производственных конференциях, совещаниях, семинарах: Международных (Новосибирск, 1998, Астана, 1999); Всесоюзных и Всероссийских - в Москве (1983, 1988, 1989), Новосибирске (1986, 1990, 1994, 1997, 1998), Нижнем Новгороде (1998); региональных - в Омске (1985), Красноярске (1982, 1996), Улан-Удэ (1984, 1985, 1989, 1994, 1997) и на республиканских и районных (ежегодно) - со специалистами и руководителями хозяйств в системе агроучебы с демонстрацией полевых опытов, а также выступления по телевидению и радио.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 32 научные работы.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 296 страницах машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, выводов и предложений производству. Иллюстрирована 120 таблицами и 9 рисунками. Содержит 10 приложений. Список использованной литературы включает 413 источников, в том числе 14 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа является обобщением результатов многолетних (1967-1997) стационарных исследований, проводимых коллективом лаборатории агрохимии и плодородия почв Бурятского НИИСХ, с 1981 г. под руководством и при непосредственном участии автора. Исследования вели в системе: почва-удобрение-растение, изучая факторы, условия и особенности процессов, протекающих в почве и оказывающих влияние на растения при длительном систематическом применении удобрений в севооборотах.

Исследования выполнены в соответствии с государственными программами и заданиями в рамках тематического плана НИР Бурятского НИИСХ СО Россельхозакадемии.

1. Состояние изученности проблемы

В главе проанализированы основные этапы исследований по эффективному использованию минеральных и органических удобрений, влиянию их на плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур на каштановых почвах Забайкалья. Существенный вклад в разработку научных основ плодородия, минерального питания растений и рационального применения удобрений на каштановых почвах Забайкалья внесли А.И. Кузнецова (1935), Ю.В. Паньков (1957), К.М. Крам (1967), И.Г. Важенин, Е.А. Важенина (1969), С.А. Бекетов, В.А. Фомин (1970), А.М. Емельянов (1970), Г.П. Колмаков, Д.Ф. Иннокентьева (1970), И.И. Коробцев и др. (1975), Н.А. Загузина (1977), В.А. Ревенский (1982, 1985), Л.Л. Убугунов (1986), Г.Д. Чимитдоржиева (1990), Н.Е. Абашеева (1992), Ю.Н. Рузавин (1993) и др. исследователи.

В главе проведен анализ состояния подходов к разработке систем применения удобрений в севооборотах. Показано, что изучение эффективности удобрений и их влияние на агрохимические свойства каштановых почв в основном ограничивалось разовыми опытами. Обосновывается целесообразность и значимость исследований по вопросам управления плодородием почвы и продуктивности агроценозов на основе длительных стационарных опытов для условий сухой степи Забайкалья.

2. Почвенно-климатические условия и методика проведения исследований

Значение сухостепных районов Бурятии в производстве сельскохозяйственной продукции весьма существенное, поскольку на них приходится около половины пашни от общей площади пахотного фонда – 860, 3 тыс. га. В этих районах на долю пахотных каштановых почв приходится более 60 % (Цыбжитов и др., 1994), для которых характерны низкое содержание гумуса (1-2 %) и азота (0,09-

0,11 %), узкое соотношение C:N и устойчивое фульвокислот над гуминовыми (Ишигинов, 1972). По содержанию валового фосфора и калия почвы относятся к потенциально богатым, однако доступных соединений для растений в этих почвах бывает недостаточно.

Климатические условия характеризуются резкой континентальностью, коротким жарким летом, продолжительной холодной зимой, глубоким промерзанием почвы (до 3,5 м) и медленным прогревом. Среднемноголетнее годовое количество осадков – 247 мм, из них 168 мм выпадает за вегетационный период. Сумма активных температур выше 10°C составляет 1300-1980°.

Тридцатилетний период исследований охватывает многообразие особенностей погодных условий, характерных для сухостепной зоны. В сравнении со средней многолетней суммой осадков за вегетационный период за годы проведения опытов было меньше нормы - 14 лет (47%), близко к норме - 5 лет (17%) и больше нормы - 11 лет (36%).

Изучение различных систем удобрений проводили в длительных стационарных севооборотных опытах, заложенных в 1967 году Г.П.Колмаковым при методическом руководстве ВИУА на опытном поле Бурятского НИИСХ. Опыты развернуты во времени и пространстве. На богаре исследования с 1967 по 1981 г. вели в шестипольных зернопаропропашных севооборотах (пар-пшеница-пшеница-кукуруза-пшеница-овес и пар-пшеница-ячмень-кукуруза-пшеница-овес), с 1982 г. – в типичном четырехпольном зернопаровом севообороте (пар-пшеница-овес-овес на зерносеяж). На орошении использовался зернопропашной севооборот: пшеница-кукуруза-пшеница-картофель-ячмень-корнеплоды. Для выяснения отдельных вопросов стационарные опыты сопровождалась серией краткосрочных и мелкоделяночных опытов. Площадь делянок в стационарных опытах 168-280 м², в краткосрочных – 25 м², размещение делянок систематическое; повторность – 4-кратная.

Агротехника в опытах общепринятая для сухостепной зоны. Учет урожая проводили комбайнами СК-4, Енисей и Сампо.

Исследования агрохимических свойств почв, химического состава растений и качества продукции проведены по общепринятым методикам (Агрохимические методы ..., 1975; Руководство по анализам..., 1982).

Полученные данные обработаны методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1979). Экономическая оценка проводилась по методике БСХА (1981), биоэнергетическая – по методике ОмГАУ (1994).

3. Агрохимические свойства каштановых почв при систематическом применении удобрений

Исследование почвенных процессов и режимов является одной из важнейших основ управления плодородием почвы. Особенное значение это имеет при систематической антропогенной нагрузке на почву, тем более, что в условиях Забайкалья исследований по этим вопросам крайне мало.

Состояние и прогноз возможных изменений почвенного плодородия при длительном применении минеральных и органических удобрений оценивали по качественным и количественным параметрам гумуса, азотного, фосфорного и калийного режимов.

Гумус. Из анализа литературы (Трофимов, 1975; Гамзиков, 1981; Бурлакова, 1984; Кирюшин, 1986; Шевцова, 1988; Чимитдоржиева, 1990; Храмцов, 1996; и др.) следует, что существует реальная возможность направленного регулирования гумусного состояния сибирских почв за счет применения минеральных и органических удобрений.

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют, что длительное применение минеральных удобрений не обеспечивает расширенного воспроизводства гумуса, однако способствует снижению темпов его потерь по сравнению с неудобренными вариантами (табл. 1). В стационарном опыте за две ротации шестипольного зернопаропропашного и четыре ротации четырехпольного зернопарового севооборотов содержание гумуса в пахотном слое почвы варианте без удобрений снизилось на 24% (относительно исходного). Систематическое внесение минеральных удобрений в норме $N_{27-56}P_{38}K_{27}$ на гектар севооборота приводит к сокращению потерь гумуса в 2,6-2,8 раза.

Положительное влияние минеральных удобрений на запасы гумуса в почве преимущественно проявляется за счет большего накопления органических остатков культурами севооборота на удобренных вариантах. Так, в среднем по зернопаровому севообороту запасы органических остатков в пахотном слое на удобренном варианте превышали контрольный в 1,3-1,4 раза.

Изменения содержания и запаса гумуса за 30 лет в каштановой почве при систематическом применении удобрений, А_{пах.}

Среднегодовая норма удобрений на 1 га севооборота	Гумус		Изменение к исходному		
	%	т/га	%	т/га	среднее за год, кг/га
Исходное (1967 г.)	1,31	38,8			
Без удобрений	1,00	29,6	-0,31	-9,2	-307
N ₂₇ P ₃₈ K ₂₇	1,19	35,2	-0,12	-3,6	-120
Навоз 10 т	1,45	42,9	0,14	4,1	137
		НСР _{0,5} , %	0,11		

Систематическое применение навоза из расчета 10 т на 1 га пашни в отличие от минеральных удобрений обеспечивает положительный баланс гумуса, при этом улучшается и качественный состав гумусовых веществ – возрастает доля гуминовых кислот.

Проведенные исследования доказывают возможность при систематическом применении минеральных и органических удобрений поддерживать гумусное состояние каштановых почв и улучшать его качественный состав.

Азот. Запасы общего азота в метровом слое каштановых почв составляют 6-7 т/га, из них более 2 т приходится на пахотный слой. Длительное применение минеральных и органических удобрений приводит к увеличению содержания общего азота в почве, при этом положительное влияние удобрений на запасы азота зависит как от нормы, так и времени их систематического применения.

После четвертой ротации зернопарового севооборота при отрицательном балансе азота внесение одних минеральных удобрений приводит к снижению запасов азота в пахотном слое на 12-14 %. Систематическое внесение навоза как одного, так и в сочетании с NPK поддерживает положительный баланс азота в севообороте и его содержание в почве. При этом отношение C:N остается достаточно стабильным (7,4-8,9) и не зависит от уровня удобренности.

В составе азотного фонда каштановых почв преобладают трудно- и негидролизуемые соединения, доля минерального азота в неудобрявшихся почвах не превышает 2 %. Подвижный минеральный

азот в каштановых почвах представлен аммонийной обменной и нитратной формами. Содержание аммонийного азота достаточно стабильное (9-12 мг/кг) и, как правило, мало зависит от предшественника, внесенных удобрений и других агротехнических факторов.

Нитратный азот наиболее подвижен – содержание его изменяется во времени, увеличивается в паровом поле и снижается под растениями. Минеральные и органические удобрения оказывают положительное влияние на накопление $N-NO_3$ во всех полях севооборота (рис. 1).

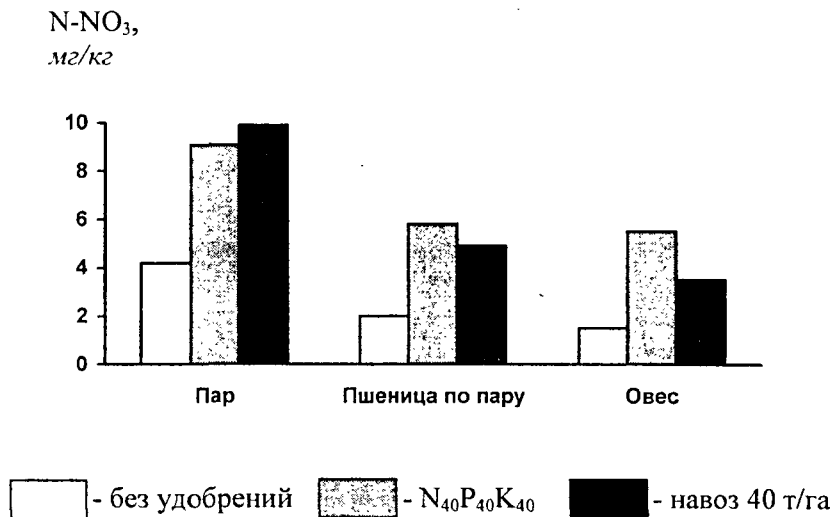


Рис. 1. Содержание нитратного азота в почве (0-40 см) полей севооборота в зависимости от применения удобрений

Максимальное количество нитратов в почве характерно для парового поля, причем из-за низких потенциальных запасов легкогидролизуемых органических веществ, накопление его в неудобряемых почвах невысокое (3-11 мг/кг) и, как правило, недостаточное для формирования полноценного урожая. Под влиянием систематического применения органических и минеральных удобрений в 2-2,5 раза возрастает содержание нитратного азота в почвах всех полей севооборота, что существенно улучшает обеспеченность сельскохозяйственных культур элементом. Эта форма служит основным источником

питания растений на каштановых почвах и может быть использована для диагностики обеспеченности растений азотом и определения потребности в азотных удобрениях по методике агрохимического обследования предложенной для сибирских почв (Кочергин, Гамзиков и др., 1983).

Фосфор. При систематическом применении фосфорных удобрений включение внесенного фосфора происходит практически во все группы минеральных фосфатов почвы (табл. 2). Наибольшее увеличение содержания остаточных фосфатов отмечено в первых двух группах как при органической (в 2,7-5 раз), так и минеральной (в 2,7-2,9 раза) системах удобрений.

Таблица 2

Влияние длительного систематического применения удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов каштановой почвы, мг/100 г

Вариант	Ca-P ₁	Ca-P ₂	Al-P	Fe-P	Ca-P ₃	Сумма
Без удобрений	1,5	1,3	2,3	7,2	72,3	84,6
N ₄₀₀ P ₅₂₀ K ₄₀₀	4,4	3,5	5,2	11,8	83,1	108,0
Навоз 160 т/га	7,5	3,5	3,7	10,5	85,5	110,7

Примечание. Удобрения внесены в сумме за 16 лет (1967-1982 гг.).

Следовательно, несмотря на длительное взаимодействие с почвой практически половина фосфора удобрений (54 %) остается в наиболее подвижной (1-4 группы) части минеральных фосфатов почвы, что убедительно объясняет эффективное длительное последствие фосфорных удобрений на каштановых почвах Забайкалья.

Определение подвижных соединений фосфора в почве свидетельствует о том, что систематическое применение удобрений позволяет не только поддерживать исходный уровень мобильных фосфатов, но и, в зависимости от длительности и нормы внесения фосфорсодержащих туков, повышать их содержание. После завершения четвертой ротации зернопарового севооборота содержание подвижного фосфора в слое 0-20 см на удобренных вариантах по методу Мачигина превышало контроль (низкий уровень обеспеченности) на 35-40 % и соответствовало среднему уровню обеспеченности почв элементом.

Калий. При длительном возделывании сельскохозяйственных культур на каштановых почвах с невысоким исходным запасом подвижного калия происходит заметное снижение его на контрольном варианте и, особенно, при систематическом внесении азотно-фосфорных удобрений. Результаты исследований показали, что только с помощью калийных и органических удобрений можно поддерживать калийный статус почв. Внесение навоза в норме 10-17 т/га севооборотной площади или 60 кг/га K_2O в сочетании с азотно-фосфорными туками обеспечивает не только бездефицитный баланс калия в севообороте, но и заметно повышает содержание подвижного калия в пахотном слое почвы по сравнению с исходным (в 1,1-1,4 раза).

Таким образом, изучение агрохимических свойств каштановых почв сухой степи позволило установить низкую их обеспеченность подвижными соединениями азота, фосфора и калия. Систематическое применение минеральных и органических удобрений позволяет поддерживать и улучшать гумусное состояние, азотный, фосфорный и калийный режимы почв.

4. Отзывчивость полевых культур на удобрения при систематическом их применении

Длительное систематическое применение удобрений оказывает положительное влияние не только на агрохимические свойства почвы, но, прежде всего, на уровень продуктивности полевых культур как в действии, так и в последствии.

Действие удобрений. Возделывание сельскохозяйственных культур в севооборотах на каштановых почвах показало, что уровень их продуктивности обусловлен главным образом запасами влаги в почве, наибольшее количество которых обычно в паровом поле (в 1,8-2,3 раза выше, чем в других полях севооборота). При посеве по этому предшественнику формируется максимальный урожай зерновых и наблюдается наивысшая отзывчивость растений на удобрения. Многолетнее изучение влияния удобрений на урожай полевых культур в 2-х ротациях шестипольного зернопаропропашного и в 4-х ротациях четырехпольного зернопарового севооборотов свидетельствует о высокой эффективности азотных удобрений (табл. 3). При этом обеспеченность почв азотом обуславливает и действие фосфорных

**Влияние систематического применения удобрений
на урожайность полевых культур на каштановых почвах**

Севооборот	Урожайность на контроле, ц/га	Прибавка, $\frac{\text{ц/га}}{\%}$					НСР ₀₅ , ц/га
		N ₄₀ P ₄₀	P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	40 т навоза	
Пшеница по пару							
Зернопаро-пропашной (1968-1979 гг.)	15,9	$\frac{4,6}{29}$	$\frac{0,7}{4}$	$\frac{0,9}{6}$	$\frac{3,8}{24}$	$\frac{3,4}{21}$	1,3
Зернопаро-вой (1982-1997 гг.)	23,9	$\frac{10,7}{45}$	$\frac{1,7}{7}$	$\frac{6,6}{28}$	$\frac{11,3}{47}$	$\frac{10,9}{45}$	1,6
Пшеница по кукурузе							
Зернопаро-пропашной (1971-1982 гг.)	7,0	$\frac{2,4}{34}$	$\frac{1,9}{27}$	$\frac{1,3}{19}$	$\frac{1,4}{20}$	$\frac{0,6}{9}$	1,0
Ячмень по пшенице							
Зернопаро-пропашной (1975-1980 гг.)	5,9	$\frac{3,0}{51}$	$\frac{-0,4}{-7}$	$\frac{2,6}{44}$	$\frac{3,3}{56}$	$\frac{2,9}{52}$	1,0
Овес по пшенице							
Зернопаро-вой (1982-1997 гг.)	12,8	$\frac{8,5}{66}$	$\frac{-0,2}{-1,6}$	$\frac{6,5}{51}$	$\frac{8,8}{69}$	$\frac{7,5^*}{59}$	1,7
Кукуруза на зеленую массу							
Зернопаро-пропашной (1970-1981 гг.)	84	$\frac{31}{37}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{24}{28}$	$\frac{41}{49}$	$\frac{38}{45}$	10,0
Овес на зерносеяж							
Зернопаро-вой (1982-1997 гг.)	81	$\frac{62}{77}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{51}{63}$	$\frac{83}{102}$	$\frac{64^*}{79}$	10,1

* Прибавки получены в последствии.

туков. Сочетание $N_{40}P_{40}$ позволяет получать максимальные урожаи всех зерновых культур. Так, в среднем за 30 лет на этом варианте: урожайность зерна пшеницы, высеваемой по пару, составила 28,5, овса в среднем за 16 лет – 21,3 ц/га. Более низкие сборы урожая других зерновых обусловлены, как правило, недостатком влаги в период вегетации растений. При длительном внесении калий в составе полного удобрения повышает урожайность преимущественно кормовых культур.

Навоз в дозе 40 т/га, внесенный в паровое поле под пшеницу и кукурузу, не уступает по своему действию полному минеральному удобрению – прибавки урожая составили 21-45 %. Увеличение дозы навоза до 60 т/га, как правило, не приводит к росту урожайности культур севооборота.

Последствие удобрений. Органические и минеральные удобрения на каштановых почвах оказывают значительное влияние на повышение урожайности культур севооборота в последствии. Высокое последствие полного минерального удобрения, навоза и сочетания органических и промышленных удобрений наблюдалось в зернопаровом севообороте на овсе – повышение урожая в среднем за 16 лет учета последствия получено в 1-й год – 7,5-8,7 ц/га зерна, во 2-й год 64-77 ц/га зеленой массы (13,8-16,6 ц/га з.ед.), что составляло к контролю 60-90 %. В последствии в зернопропашном звене севооборота получены аналогичные прибавки урожая зерна пшеницы при посеве после кукурузы – 4,6-5,9 ц/га (41-52 %) и овса – 1,5-3,2 ц/га (18-38 %). Анализ продуктивности зернопарового севооборота (табл. 4) свидетельствует о том, что из суммарного эффекта за ротацию на долю действия удобрений приходится 30-38 %, на последствие – 62-70 %, что указывает на необходимость учета последствия при построении системы удобрения в севообороте.

Факторы повышения эффективности удобрений. Действие удобрений на урожай сельскохозяйственных культур в условиях сухой степи зависит от увлажнения, обеспеченности нитратным азотом перед посевом и сорта. Важнейшим фактором эффективности удобрений является увлажнение (табл. 5). Улучшение гидротермических условий способствует более высокой отдаче от удобрений: при увеличении ГТК с 0,2-0,6 до 1,3-1,9 прибавки зерна пшеницы закономерно возрастали с 3 до 13 ц/га, овса с 3 до 14 ц/га, зеленой массы кукурузы и овса, соответственно, с 14 до 106 и с 29 до 132 ц/га. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на удобрения на поливе в

1,5-2,3 раза выше, чем на богаре, а окупаемость 1 кг д.в. зерном возрастает с 2,5-4,7 до 3,7-9,3 кг.

Таблица 4

Действие и последствие удобрений на продуктивность зернопарового севооборота, 1982-1997 гг.

Внесено удобрений за ротацию	Продуктивность севооборота за ротацию, ц/га з.ед.	Прибавка		Доля участия в суммарном эффекте, %	
		ц/га з.ед.	%	действие	последствие
Контроль	60,4				
N ₁₈₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	94,0	33,6	55,6	38	62
Навоз 40 т/га	95,2	34,8	57,6	37	63
Навоз 60 т/га	98,0	37,6	62,3	35	65
N ₂₃₆ P ₁₅₆ K ₂₅₆ – эквивалент 40 т навоза	95,6	35,2	58,3	30	70
20 т навоза + N ₁₁₈ P ₇₈ K ₁₂₈ – эквивалент 20 т навоза	100,0	39,6	65,6	34	66

Таблица 5

Эффективность удобрений на каштановой почве в зависимости от гидротермических условий

Гидротермический коэффициент (ГТК)				НСП ₀₅ , ц/га
0,2-0,6	0,7-0,9	1,0-1,2	1,3-1,9	
Пшеница по пару, 1968-1997 гг.				
<u>11,9</u> 3,3	<u>14,1</u> 5,2	<u>24,6</u> 6,8	<u>29,0</u> 13,3	1,4
Овес по пшенице, 1982-1997 гг.				
<u>7,2</u> 3,6	<u>12,1</u> 4,8	<u>14,8</u> 7,3	<u>16,9</u> 14,2	1,7

Примечание. Числитель – урожайность на контроле, знаменатель – прибавка от N₄₀P₄₀, ц/га.

Продуктивность полевых культур и эффективность азотных удобрений в значительной мере зависит от обеспеченности азотом перед посевом. Коэффициент корреляции между прибавкой урожая пшеницы от азотного удобрения и содержанием нитратного азота в почве перед посевом составил в среднем за 30 лет - $0,79 \pm 0,20$.

При количестве нитратного азота в слое почвы 0-40 см менее 5 мг/кг средняя прибавка зерна пшеницы составила 12 ц/га, что в 2,7 раза больше, чем при содержании 5-10 мг/кг N-NO₃. При недостатке почвенного азота оптимальными нормами внесения элемента с удобрениями для пшеницы является N40, под кукурузу – N60. В среднем за 16 лет азотные удобрения повысили продуктивность зернопарового севооборота на 9,2 ц/га (или на 67%) при окупаемости 1 кг тука до 30 кг з.ед.

Запасы нитратного азота в почве перед посевом оказывают положительное влияние на использование фосфора удобрений и определяют уровень прибавки урожая. При содержании N-NO₃ менее 5 мг/кг действие суперфосфата не проявлялось, при 5-10 мг/кг прибавки зерна пшеницы составляли 2,1-2,7 ц/га.

Важным фактором эффективности удобрений является сорт. Новые сорта пшеницы интенсивного направления местной селекции (Бурятская 79, Селенга) оказались наиболее отзывчивыми на удобрения и повышали продуктивность яровой пшеницы при поливе на 4,3-5,8 ц/га, на богаре – на 2,8-3,7 ц/га.

Многолетние стационарные исследования свидетельствуют, что в условиях сухостепной зоны Забайкалья применение навоза и минеральных удобрений является надежным агротехническим приемом повышения продуктивности полевых культур. Под зерновые культуры эффективно внесение 40 т/га навоза или N₄₀P₄₀ (повышение урожая в 1,3-1,7 раза), под кормовые – 40 т/га навоза или N₄₀P₄₀K₄₀ (в 1,5-2 раза). Органические и минеральные удобрения, повышая эффективное плодородие каштановых почв, оказывают высокое последствие на продуктивность всех культур севооборота.

5. Влияние удобрений на баланс питательных веществ и качество урожая

Научной основой рациональной системы удобрений, предусматривающей получение высоких урожаев при одновременном

поддержании почвенного плодородия, является разработка количественных параметров химического состава культур, выноса и затрат элементов питания на создание единицы продукции, использования и баланса питательных веществ в севообороте.

Содержание, вынос и затраты элементов питания. Химический состав растений зависит от биологических особенностей, места культуры в севообороте и обеспеченности элементами минерального питания. Условия возделывания культур в большей степени влияют на содержание в растениях азота, чем фосфора и калия. Наибольшая концентрация азота отмечена в зерне (2,0-2,3%) и в соломе (0,5-0,7%) пшеницы при посеве по пару. Минеральные азотные удобрения и навоз повышают содержание азота как в действии, так и в последствии. Под влиянием этих удобрений возрастает также содержание калия в соломе зерновых культур и зеленой массе кукурузы и овса. Фосфорные и калийные удобрения способствуют повышению концентрации фосфора и калия в вегетативной и репродуктивной частях урожая ячменя, овса, кукурузы.

На основании многолетних полевых опытов определены нормативы расхода элементов минерального питания на формирование единицы продукции. Установлено, что в сухой степи Забайкалья расход питательных веществ на единицу урожая существенно ниже, чем в других зонах. На создание 1 ц зерна пшеницы с соответствующим количеством соломы при урожайности 17-35 ц/га, расход азота составляет 2,7-3,7 кг; фосфора — 0,9-1,1 и калия 1,8-2,2 кг, для овса при урожайности в 19-22 ц/га соответственно 2,9-3,2; 1,3-1,4 и 3,6-4,0 кг. Наиболее экономичный расход элементов питания характерен при формировании урожайности биомассы кормовыми культурами (кукуруза и овёс): расход на 1 ц сухого вещества составлял азота — 1,2-1,4; фосфора — 0,2-0,6 и калия 2,1-2,7 кг.

Использование элементов питания из удобрений. Потребление элементов питания растениями из удобрений колеблется в широких пределах и обусловлено особенностями возделываемой культуры и сорта, гидротермическими условиями и исходной обеспеченностью элементами питания за счет почвенных запасов.

Оценка использования элементов питания из удобрений полевыми культурами за каждую ротацию и в среднем за 4 ротации зернопарового севооборота позволила учесть суммарное потребление азота, фосфора и калия не только в действии, но и в последствии. В среднем за 16 лет коэффициенты использования составили: азота

89 %, фосфора – 41 % и калия – 37 %. В 1 и 3 ротациях зернопарового севооборота коэффициенты использования за счет экстра азота на 10-16 % превышали количество внесенного элемента с удобрением.

Внесение азота в запас на ротацию севооборота по сравнению с ежегодным внесением, снижает коэффициент использования на 15 %.

Баланс элементов питания. Как показали многолетние опыты, для получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур в севообороте и поддержания оптимального содержания фосфора в почве, достаточно восполнения этого элемента, т.е. создания положительного баланса, что обеспечивается применением фосфорных удобрений в норме 38 кг на 1 га пашни.

Баланс азота и калия в зернопаропропашном и зернопаровом севооборотах при всех изучаемых минеральных системах удобрений складывается отрицательным. Систематическое применение минеральных и органических удобрений сглаживает дефицит этих элементов. Установлено, что без ущерба для эффективного плодородия каштановых почв можно допустить в производстве дефицитный баланс по азоту и калию в пределах 50 %, возмещая недостаток этих элементов для питания растений за счет мобилизации почвенных ресурсов.

Качество. Решающее влияние на повышение качества продукции всех культур севооборота оказывают азотные удобрения и навоз. В зерне пшеницы, а также в зерне и зеленой массе овса содержание белка под влиянием азотсодержащих минеральных и органических удобрений увеличивается соответственно на 1,9-3,3; 0,9-2,8 и 0,7-3,9 % (рис. 2). В связи с увеличением урожая и повышением содержания белка сбор его с единицы площади на удобренных вариантах возрастает: с зерном пшеницы и овса на 53-107 %, с зерносеменной массой овса на 83-200 %.

Количество протеина в зеленой массе кукурузы увеличивается при внесении азотного удобрения (N_{60}) на 2,2-3,2 %, навоза (20 т) – на 2,1-2,3 %, соответственно растёт сбор белка - на 0,5-0,9 и 0,2-0,5 ц/га.

Анализ зеленой массы овса показал, что минеральные и органические удобрения не оказывают достоверного влияния на накопление нитратного азота в продукции.

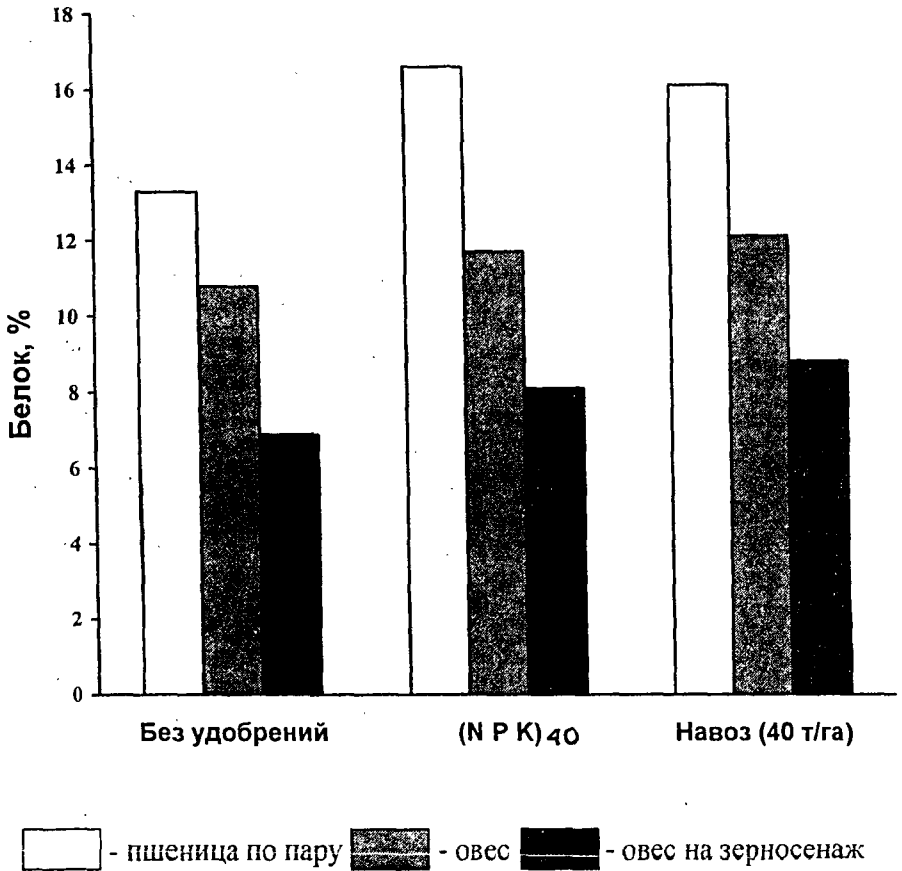


Рис. 2. Содержание белка в урожае культур зернопарового севооборота, 1982-1997 гг.

В своеобразных почвенно-климатических условиях региона, подчиняясь общим закономерностям, химический состав растений зависит от биологических особенностей, места культуры в севообороте и обеспеченности элементами минерального питания. Условия возделывания культур в большей степени влияют на содержание азота, чем фосфора и калия в надземной массе растений. Наибольшая концентрация азота в зерне и соломе пшеницы отмечена при посеве ее по пару. Минеральные азотные удобрения и навоз повышают со-

держание азота как в действии, так и в последствии. Под влиянием этих удобрений возрастает также содержание калия в соломе зерновых культур и зеленой массе кукурузы и овса. Фосфорные и калийные удобрения способствуют повышению концентрации, соответственно, фосфора и калия в вегетативной и репродуктивной частях урожая. Нормативы расхода элементов минерального питания на создание единицы продукции в сухой степи Забайкалья ниже, чем в других регионах .

6. Эффективность систем удобрений в полевых севооборотах

Длительное систематическое применение минеральных и органических удобрений, улучшая агрохимические свойства почв, оказывает устойчивое положительное влияние на урожайность полевых культур и, следовательно, на продуктивность севооборотов в целом. В сухой степи при дефиците увлажнения более высокие параметры продуктивности пашни (в 1,5-1,9 раза) и прибавок урожая от вносимых удобрений (в 2,5-3,3 раза) характерны для севооборота с короткой ротацией (четырёхпольного) в сравнении с шестипольным (табл. б). Отличительной особенностью зернопарового четырёхпольного севооборота является и более высокая оплата единицы внесённых питательных веществ.

Азотно-фосфорные удобрения при систематическом применении оказывают наиболее ошутимое влияние на дополнительный сбор растениеводческой продукции: так, в зернопаропропашном севообороте усреднённая прибавка составляла 31 %, в зернопаровом - 53% к контролю. При этом оплата единицы внесённых элементов была существенно выше в зернопаровом севообороте (около 12 кг зерна). Повышенную потребность в калийных удобрениях на каштановых почвах проявляют кормовые культуры. В связи с этим насыщенность севооборотов кормовыми обуславливает суммарную эффективность калийных удобрений. Их влияние на выход продукции было существенным в зернопаровом севообороте, где доля кормовых составляла 25%, и не проявилось в зернопаропропашном севообороте (16% кормовых).

**Эффективность минеральных систем удобрений
в севооборотах на каштановой почве**

Внесено удобрений на 1 га севооборотной площади	Продуктивность, ц/га з.ед.		Прибавка		Окупаемость 1 кг д.в. удобрений зерном, кг
	за ротацию	за год	ц/га з.ед.	%	
Зернопаропропашной севооборот, 2 ротации (1967-1982 гг.)					
Контроль (без удобрений)	60,0	10,0			
N ₂₃ P ₂₈	78,6	13,1	3,1	31	6,1
P ₂₈ K ₂₃	62,4	10,4	0,4	4	0,8
N ₂₃ P ₂₈ K ₂₃	78,6	13,1	3,1	31	4,2
НСП _{0,5} , ц/га			1,4		
Зернопаровой севооборот, 4 ротации (1982-1997 гг.)					
Контроль	60,4	15,1			
N ₃₀ P ₄₅	96,0	24,0	8,9	59	11,9
P ₄₅ K ₃₀	64,4	16,1	1,0	7	1,3
N ₃₀ P ₄₅ K ₃₀	101,2	25,3	10,2	68	9,7
НСП _{0,5} , ц/га			2,0		

Органическая система удобрений при длительном внесении навоза позволяет стабильно поддерживать высокий уровень продуктивности севооборотов (табл. 7). Выполненными исследованиями установлено, что не только один навоз, но и замена половины его эквивалентным количеством минеральных удобрений, как и внесение одних минеральных туков в эквиваленте 10 тоннам навоза, позволяют получать близкие по продуктивности результаты. В коротко ротационном севообороте, по-видимому, за счёт лучшего водного режима, прибавка и оплата питательных веществ (в пересчёте на 1 тонну органического удобрения) была в 2,7-4 раза выше в сравнении с 6-польным зернопаропропашным.

В условиях неустойчивого увлажнения сухой степи Забайкалья потенциальные возможности удобрений в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур полностью не реализуются.

Повысить их эффективность можно с помощью орошения. Проведение полевых опытов на орошаемых землях по изучению систем применения удобрения в течение двух ротаций 6-польного зернопаропашного севооборота показало, что при внесении полного удобрения ($N_{60-180}P_{60}K_{60}$) ежегодный выход продукции на гектар севооборотной площади возрастает до 30-35 ц/га. Такой уровень урожайности формируется в результате высокой отзывчивости культур на удобрения - прибавки урожая составляли 12,8-18,7 ц/га (76-110 % к контролю).

Таблица 7

Эффективность органической и органоминеральной систем удобрений на каштановой почве

Внесено удобрений на 1 га севооборотной площади	Продуктивность, ц/га з. ед.		Прибавка		Окупаемость 1 т навоза, кг зерна
	за ротацию	за год	ц/га з.ед.	%	
Зернопаропашной севооборот, 2 ротации (1967-1982 гг.)					
Контроль (без удобрений)	60,0	10,0			
Навоз 10 т	72,6	12,1	2,1	21	21
Навоз 5 т + $N_{30}P_{19}K_{32}$ (эквивалент 5 т навоза)	75,6	12,6	2,6	26	26
$N_{59}P_{39}K_{64}$ (эквивалент 10 т навоза)	79,8	13,3	3,3	33	33
НСР _{0,5} , ц/га	1,4				
Зернопаровой севооборот, 4 ротации (1982-1997 гг.)					
Контроль	60,4	15,1			
Навоз 10 т	95,2	23,8	8,7	58	87
Навоз 5 т + $N_{30}P_{19}K_{32}$ (эквивалент 5 т навоза)	100,0	25,0	9,9	66	99
$N_{59}P_{39}K_{64}$ (эквивалент 10 т навоза)	95,6	23,9	8,8	58	88
НСР _{0,5} , ц/га	2,0				

Многолетние исследования убедительно показали, что в условиях сухой степи на каштановых почвах надёжным приёмом стабилизации продуктивности полевых культур в севооборотах на уровне 24-25 ц/га, являются органические и минеральные удобрения, эффективность которых возрастает в 1,5-2,3 раза при орошении.

7. Комплексная оценка эффективности удобрений при длительном систематическом применении

Комплексная оценка эффективности длительного систематического применения удобрений предусматривает определение агрономической, экономической и биоэнергетической целесообразности их использования в земледелии.

С помощью удобрений, как свидетельствуют тридцатилетние полевые исследования (табл. 8), удаётся поддерживать достаточно высокий (18,8-20,1 ц/га зерна) для сухой степи уровень производства растениеводческой продукции. Внесение навоза (10 т/га в расчете на год) и минеральных удобрений ($N_{27}P_{38}$ и $N_{27}P_{38}K_{27}$) позволяет в 1,5-1,6 раза увеличивать урожайность и дополнительно получать ежегодно 6,2-7,5 ц зерна с гектара севооборотной площади. В действии и последствии от каждого килограмма питательных веществ, внесённых с промышленными удобрениями в оптимальных нормах, возможно получать от 8 до 10 кг, от 1 тонны навоза - до 59 кг зерна. Применение органических и минеральных удобрений является весьма выгодным агротехническим приёмом, что подтверждают экономические и энергетические параметры.

Внесение азотно-фосфорных удобрений в зернопаропропашном севообороте позволяет получать прибыль до 185 руб./га при рентабельности 100 %. В зернопаровом севообороте эффективность удобрений значительно выше: прибыль до 619 руб. при рентабельности 228 %. В среднем же за 30 лет применение минеральных удобрений позволяло получать дополнительно 287-487 руб. на 1 га севооборотной площади при рентабельности 77-185 %. Экономическая эффективность органической системы удобрений существенно ниже.

Расчет энергетических затрат на применение удобрений и оплаты прибавки приращения энергии показал, что наиболее эффективными являются минеральные в сочетаниях $N_{27}P_{38}$ и $N_{27}P_{38}K_{27}$.

Таблица 8

Комплексная оценка эффективности удобрений при длительном систематическом их применении, 1967-1997 гг.

Внесено на 1 га севооборота	Продуктивность, ц/га з. ед.	Прибавка к контролю		Оплата продукцией, кг з.ед.		Прибыль на 1 га от удобрений, руб.	Рентабельность, %	Энергетический коэффициент
		ц/га з. ед.	%	1 кг NPK	1 т навоза			
$N_{27}P_{38}$	19,3	6,7	53,2	10,3	-	435	185	3,9
$N_{27}P_{38}K_{27}$	20,1	7,5	59,5	8,2	-	487	185	4,0
$N_{46}P_{38}K_{27}$	19,7	7,1	56,4	6,4	-	375	112	2,5
$N_{56}P_{38}K_{27}$	19,2	6,6	52,4	5,5	-	287	77	1,9
Навоз 17 т	19,5	6,9	54,8	-	38,8	209	43	0,8
Навоз 10 т	18,8	6,2	49,2	-	59,0	321	107	1,2
$N_{59}P_{39}K_{64}$ - эквивалент 10 т навоза	19,4	6,8	54,0	3,9	-	286	73	1,8
Навоз 5 т + $N_{30}P_{19}K_{32}$ - эквивалент 5 т навоза	19,7	7,1	56,4	4,1	-	328	86	1,6

Таким образом, комплексная суммарная оценка действия удобрений в севооборотах в течение 30-летнего систематического применения на каштановых почвах сухой степи Забайкалья позволила установить: а) полное минеральное и органическое удобрения могут служить эффективным приёмом стабилизации продуктивности на уровне 20 ц/га в пересчёте на зерно; б) наиболее рациональными нормами внесения удобрений под полевые культуры являются: органических - по 10 т, минеральных (NPK) - по 30-40 кг на гектар се-

вооборотной площади; в) применение удобрений в агроландшафтах сухой степи региона является выгодным приёмом как с позиций экономических (рентабельность 107-185%), так и энергетических (коэффициенты 2,5-4) затрат.

Выводы

1. Основопологающим условием стабильного производства растениеводческой продукции на каштановых почвах сухой степи Забайкалья является систематическое длительное применение удобрений в полевых севооборотах, которое позволяет, эффективно используя климатический потенциал, поддерживать потенциальное и эффективное плодородие каштановых почв, оптимизировать питание растений, обеспечивать высокий уровень урожайности сельскохозяйственных культур и улучшать качество получаемой продукции. В своеобразных почвенно-климатических условиях зоны высокого действие азотно-фосфорных удобрений проявляется на зерновых культурах, полное удобрение - на кормовых. Органические удобрения эффективны при внесении под все полевые культуры.

2. Под влиянием систематического применения органических удобрений стабилизируется и повышается содержание гумуса в каштановой почве и улучшается его качественный состав. За две ротации зернопаропропашного и четыре-зернопарового севооборотов при внесении среднегодовой нормы навоза 10 т/га количество гумуса в пахотном слое возрастает на 10,5 %, а при внесении 17 т/га - на 15,7 % относительно исходного содержания. Минеральные удобрения ($N_{27-56}P_{38}K_{27}$), сокращая в 2,6-2,8 раза потери гумуса, не ликвидируют его дефицит. Под воздействием органических удобрений увеличивается доля гуминовых кислот, незначительно изменяется количество фульвокислот и негидролизуемого остатка.

3. Систематическое применение азотных минеральных удобрений и навоза при положительном балансе азота в севооборотах приводит к улучшению азотного фонда почвы: возрастает количество минеральной (на 172%), трудногидролизуемой (на 36%) и легкогидролизуемой (на 12%) фракций. В зависимости от системы удобрения запасы нитратного азота в слое почвы 0-40 см во всех полях севооборота увеличиваются в 2,2-2,5 раза.

4. Под влиянием длительного применения фосфорных туков происходит (пропорционально их норме внесения) накопление остаточных фосфатов, что способствует улучшению условий фосфорного питания культур севооборота. Половина вносимого фосфора, несмотря на длительное взаимодействие с почвой, остается в наиболее подвижной (1-4 группы) части минеральных фосфатов, что способствует эффективному и длительному последствию удобрений на каштановых почвах. Систематическое внесение суперфосфата (38 кг/га P_2O_5) и навоза (10-17 т/га) в течение двух ротаций зернопаропропашного и четырёх-зернопарового севооборотов способствует повышению содержания подвижного фосфора в пахотном слое на 6-17%.

5. На каштановых почвах сухой степи урожайность полевых культур и их отзывчивость на удобрения по годам в сильной степени зависит от условий увлажнения. При ГТК < 1,0 урожайность зерновых колеблется в пределах 7,2-14,1, при ГТК > 1,0 – 14,8-29,0 ц/га, прибавки от удобрений составляют, соответственно, 3,3-5,2 и 6,8-14,2 ц/га. Важнейшей составляющей эффективности удобрений является обеспеченность почв полей севооборотов влагой. При посеве пшеницы по пару на удобренных вариантах ($N_{40}P_{40}$, $N_{40}P_{40}K_{40}$, навоз – 40 т/га) проявляется наибольшая эффективность органических и минеральных удобрений - дополнительный сбор зерна составлял 3,4 - 11 ц/га. Прибавки урожая зерновых (пшеница, ячмень, овёс), размещаемых по непаровым предшественникам, всегда существенно ниже (0,6 - 8,8 ц/га).

6. Органические и минеральные удобрения при систематическом применении в севооборотах положительно влияют на питание растений и урожайность всех культур севооборота, позволяя получать с гектара севооборотной площади до 20 ц зерна на богаре и до 35 ц при орошении. Систематическое внесение минеральных удобрений ($N_{23}P_{28}$) в среднем за две ротации зернопаропропашного севооборота обеспечило ежегодное повышение продуктивности на 3,1 ц/га з.ед. при окупаемости 1 кг д.в. 6,1 кг зерна. Отдача от удобрений в зернопаровом севообороте значительно выше: при внесении $N_{30}P_{45}$ дополнительный выход зерна возрастает до 8,9 ц/га, при внесении $N_{30}P_{45}K_{30}$ – до 10,2 ц/га при высокой оплате единицы внесённого тука, соответственно, 11,9 и 9,7 кг зерна. Оптимальной нормой навоза, обеспечивающей наибольшую прибавку урожая полевых культур и наивысшую окупаемость, является 10 т/га. При этом ежегодная прибавка урожая от навоза к контролю в зернопаропропашном севообо-

роте составляет 2,1 ц з.ед., в зернопаровом существенно выше - 8,7 ц з.ед. с гектара севооборотной площади, а оплата 1 т, соответственно, 21 и 87 кг зерна. Орошение интенсифицирует продукционный процесс. Так, при систематическом внесении удобрений из расчета $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ в течение двух ротаций зернопропашного севооборота ежегодная прибавка сбора зерна составила 12,8-14,6 ц/га, а окулаемость 1 кг д.в. удобрений - 7,1 - 12,2 кг.

7. Все изученные системы применения удобрений (органическая, органоминеральная, минеральная) полевых культур высокоэффективны на каштановой почве сухой степи Забайкалья. Наиболее оптимальным сочетанием удобрений под зерновые культуры в зернопаропропашном и зернопаровом севооборотах является совместное внесение азота (23-30 кг) и фосфора (28-45 кг в расчёте на гектар пашни). Для создания условий сбалансированного питания кормовых культур, наряду с азотно-фосфорными, эффективно внесение калийных удобрений в норме 23-30 кг/га. Применение минеральных и органических удобрений в севооборотах оказывает не только прямое, но и длительное последствие на урожайность сельскохозяйственных культур. В зернопаропропашном севообороте на долю последствия органических и минеральных удобрений от суммарной их эффективности приходится 48-49 %, а в зернопаровом - 65-70 %.

8. Применение удобрений в оптимальных нормах и соотношениях улучшает качество урожая всех культур севооборотов. Под влиянием действия азотных удобрений и навоза повышается содержание белка в зерне пшеницы и овса на 0,5-3,3 %, в зеленой массе кукурузы и овса - на 0,7-3,2 %. В результате последствия удобрений содержание белка в зерне пшеницы, овса и зеленой массе овса возрастает, соответственно, на 0,7-2,2; 1,3-2,8 и 1,9-3,9 %. Систематическое применение минеральных и органических удобрений в пределах изучаемых норм их внесения не оказывало влияния на накопление нитратов в растениеводческой продукции.

9. Установленные количественные параметры химического состава растений, выноса и затрат элементов питания на создание урожая, баланса и коэффициентов использования питательных веществ могут служить нормативной базой для разработки рациональных систем применения удобрений в севооборотах хозяйств, расположенных в сухой степи земледельческой территории Забайкалья. Расход элементов питания на производство одного центнера зерна с соответствующим количеством соломы при уровне урожайности пше-

ницы 17-35 ц/га составляет 2,7-3,7 кг азота, 0,9-1,1 кг фосфора, 1,8-2,2 кг калия, овса - при урожайности 19-22 ц/га, соответственно, 2,9-3,2; 1,3-1,4 и 3,6-4 кг.

10. Применение минеральных и органических удобрений на каштановых почвах сухой степи Забайкалья является важнейшим фактором повышения и стабилизации продуктивности агроландшафтов. В результате 30-летнего систематического применения минеральных (оптимальные среднегодовые нормы $N_{27}P_{38}$ и $N_{27}P_{38}K_{27}$) и органических (навоз 10 т/га) удобрений установлено, что можно устойчиво получать ежегодный выход продукции культур полевых севооборотов на уровне 19-20 ц/га з.ед. При этом внесение удобрений является высокоэффективным агротехническим приёмом: 1 кг д.в. удобрений окупается 8-10 кг зерна, 1 т навоза – 39-59 кг зерна; рентабельность применения навоза составляет 107%, энергетический коэффициент - 1,2%; рентабельность минеральных удобрений - 185%; энергетический коэффициент – 3,9-4.

Предложения производству

Для поддержания плодородия почв, обеспечения стабильной продуктивности полевых севооборотов в сухой степи Забайкалья на уровне 20 ц/га з.ед., улучшения качества растениеводческой продукции и высокой рентабельности производства зерна и кормов рекомендуется применять минеральные удобрения в сочетании $N_{30}P_{30}K_{10}$ или навоза 10 т/га на гектар севооборотной площади. При этом оптимальная схема распределения удобрений: навоз 40 т/га в паровое поле, $N_{40}P_{40}$ под пшеницу при посеве по пару и под овёс, $(NPK)_{40}$ под овёс на зерносеянец.

В орошаемом зернопропашном севообороте для получения продуктивности в 30-35 ц/га з.ед. необходимо вносить под каждую культуру севооборота 120-180 кг азота и по 60 кг фосфора и калия.

Для поддержания и воспроизводства плодородия каштановых почв целесообразно применять в паровом поле навоз из расчета 10 т на гектар севооборотной площади.

При освоении рекомендованных систем применения удобрений для более полной их реализации необходимо возделывать интенсивные сорта, в частности, пшеницы Бурятская 79 и Селенга.

**Список основных работ,
опубликованных по теме диссертации**

1. Действие минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур в Бурятской АССР // Сиб. вестн. с.-х. науки, 1975. №4. С.7-13 (в соавт.).
2. Действие минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы в степной зоне Бурятской АССР // Агрохимия, 1977. №11. С.74-78 (в соавт.).
3. Влияние азотных удобрений на урожай и качество яровой пшеницы на каштановых и серых лесных почвах Бурятской АССР // Тез. докл. регион. совещ. «Итоги работы геогр. сети опытов с удобрениями». Челябинск, 1977. С.76-77 (в соавт.).
4. Действие и последствие азотных удобрений на урожай зерна яровой пшеницы при различных уровнях фосфорного питания // Агрохимия, 1977. №5. С. 10-13 (в соавт.).
5. Некоторые факторы эффективного использования азотных удобрений на каштановых почвах Бурятии / Вопросы химизации земледелия. – Иркутск: Иркутское кн. изд.-во, 1978. С.47-51.
6. Урожай и качество яровой пшеницы в степной зоне Бурятской АССР при удобрении аммиачной селитрой // Химия в сельском хозяйстве, 1979. №4. С.16-17 (в соавт.).
7. Действие минеральных удобрений на урожай яровой пшеницы в лесостепной зоне Бурятский АССР // Агрохимия, 1979. №2. С. 13-16 (в соавт.).
8. О некоторых особенностях содержания валового и подвижного фосфора в почвах Бурятии // Почвоведение, 1982. № 12. С. 131-135 (в соавт.).
9. Система удобрений // Зональная система земледелия Бурятской АССР: Рекомендации / Бурят. НИИ сельского хоз-ва, Улан-Удэ, 1982. 243 с. (в соавт.).
10. Эффективность удобрений в полевых севооборотах на каштановых почвах Бурятии // Сиб. вестн. с.-х. науки, 1983. №4. С. 1-6.
11. Повышение оплаты удобрений в полевых севооборотах Бурятской АССР // Тез. док. Всесоюзн. совещ. геогр. сети опытов с удобрениями. Горький, 1984. С.218 (в соавт.).
12. Опыт рационального использования органических и мине-

- ральных удобрений //Материалы респ. науч.-практ. конф. Улан-Удэ, 1984. С.99-104 (в соавт.).
13. Влияние различных систем удобрений на урожай полевых культур и продуктивность зернопарового севооборота // Молодые ученые - сельскому хозяйству Сибири: Тез. докл. зональной науч.-практ. конф. Улан-Удэ, 1985. С.38-39 (в соавт.).
 14. Рациональная система удобрений и восстановление плодородия почв // Система ведения сельского хозяйства Бурятской АССР: Рекомендации / Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Новосибирск, 1985. 189 с. (в соавт.).
 15. Применение удобрений // Интенсивные технологии возделывания яровой пшеницы в Бурятской АССР: Рекомендации /Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Новосибирск, 1986. 42 с. (в соавт.).
 16. Влияние севооборотов на плодородие и продуктивность почв в сухостепной зоне Бурятии: Сб. науч. тр. / Сиб. НИИ сельского хоз-ва. Новосибирск, 1988. С.121-129 (в соавт.).
 17. Эффективность азотных и калийных удобрений и ее прогнозирование в земледелии Бурятской АССР: Сб. науч. тр. /Краснояр. НИИ сельского хоз-ва. Новосибирск, 1988. С.46-50 (в соавт.).
 18. Плодородие каштановых почв Бурятии в зависимости от длительного применения удобрений и севооборотов //Почвенные ресурсы Забайкалья. Сб. науч. тр. /Бурят. НИИ биологии. Новосибирск, 1989. С.158-161 (в соавт.).
 19. Баланс азота и эффективность азотных удобрений, внесенных под яровую пшеницу на каштановых почвах Бурятской АССР //Тез. докл. делегат. VI съезда Всесоюз. общ-ва почвоведов. Тбилиси, 1989. С.106 (в соавт.).
 20. Система земледелия Бурятской АССР: Рекомендации /Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Новосибирск, 1989. 331 с. (в соавт.).
 21. Длительное применение удобрений и плодородие почв. // Земельные ресурсы Республики Бурятия: Тез. докл. Респуб. науч.-практ. конф. Улан-Удэ, 1994. С.50 (в соавт.).
 22. Система удобрений // Система ведения агропромышленного производства Республики Бурятия: Рекомендации /Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Улан-Удэ, 1996. 248 с. (в соавт.).
 23. Полевые севообороты в Бурятии //Сб. науч. тр. / Бурят. НИИ

- сельского хоз-ва. Улан-Удэ, 1996. Вып. 6. С.59-65 (в соавт.).
24. Эффективность удобрений в длительном стационарном опыте на каштановой почве Бурятии //Сб. науч. тр. /Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Улан-Удэ, 1996. Вып. 6. С.79-84 (в соавт.).
 25. Использование сидератов в севооборотах Бурятии: Сб. науч. тр. / Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Улан-Удэ, 1996. Вып. 6. С.85-88 (в соавт.).
 26. Азотные удобрения в земледелии прибрежной части озера Байкал //Сб. науч. тр. /Бурят. НИИ сельского хоз-ва. Улан-Удэ, 1996. Вып.6. С.88-93 (в соавт.).
 27. Применение удобрений на каштановых почвах в Бурятии: Материалы науч. чтений, посвященных 100-летию закладки первых полевых опытов И.И.Жилинским. Новосибирск, 1997. С. 105-107.
 28. Эффективное использование удобрений в земледелии Бурятии: Материалы науч.-практ. Российско-Монгольской конф. по проблемам развития АПК Монголии. Новосибирск, 1998. С. 29-30 (в соавт.).
 29. Система удобрений в полевых севооборотах сухой степи Западного Забайкалья // Современные проблемы оптимизация минерального питания растений: Матер. науч.-практ. конф. Нижний Новгород, 1998. С.163-165 (в соавт.).
 30. Азотный режим степных почв аридных территорий Сибири, Северного Казахстана и Монголии // Проблемы стабилизации и развития с.-х. производства Сибири, Монголии и Казахстана в XXI веке. Новосибирск, 1999. С. 37-39 (в соавт.).
 31. Удобрения в сухой степи Бурятии // Проблемы стабилизации и развития с.-х. производства Сибири, Монголии, и Казахстана в XXI веке. Новосибирск, 1999. С. 82-84 (в соавт.).
 32. Фосфатный режим каштановых почв Бурятии //Научное обеспечение АПК Западной Сибири. Новосибирск, 1999. С.36-37 (в соавт.).

