

На правах рукописи



**ИЛЮШКИНА
ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА**

**ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТИ
УДОБРЕНИЙ И ПРОДУКТИВНОСТИ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО
(*GALEGA ORIENTALIS* LAM.) НА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ В
УСЛОВИЯХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

06.01.04 – Агрохимия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Воронеж 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ
Юрий Иванович Ермохин

Официальные оппоненты: **Володина Тамара Ибраевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Великолукская сельскохозяйственная академия», кафедра химии, агрохимии и агроэкологии, профессор
Кожокина Анна Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I», кафедра агрохимии, почвоведения и агроэкологии, доцент

Ведущая организация: ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии», Сибирское отделение Российской академии наук

Защита состоится «25» марта 2021 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 220.010.07 на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1; тел./факс (4732)53-86-51, e-mail: stekolnikova-nv@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом – на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak.minobrnauki.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru

Автореферат разослан «____» _____ 2021 года
Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скреплённые гербовой печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Учёный секретарь диссертационного совета  Стекольников Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях Западной Сибири и Северного Казахстана предложен и разработан комплексный метод почвенно-растительной оперативной диагностики «ИСПРОД». Данный метод получил широкое применение при возделывании овощных, зерновых, кормовых культур и лекарственных растений в условиях черноземной зоны Омской области. Однако в условиях северной зоны Сибирского Нечерноземья, где особо остро стоят вопросы дефицита почвенного плодородия, метод комплексной диагностики минерального питания растений и применения минеральных удобрений остается малоизученным и актуальным.

Цель исследования: разработать научно-обоснованную систему почвенно-растительной оперативной диагностики (ПРОД) минерального питания, эффективности удобрений для повышения продуктивности козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) на серой лесной почве в агроклиматических условиях Западно-Сибирского Нечерноземья.

Задачи исследований:

1) выявить закономерности влияния химического состава почвы, доз применяемых минеральных удобрений и погодных условий на величину и качество урожая кормовой культуры козлятника восточного;

2) на основе комплексного метода почвенно-растительной оперативной диагностики определить нормативные агрохимические и физиологические показатели для разработки математических моделей продуктивности козлятника восточного в системе прямой и обратной связи «почва – растение – удобрение»;

3) на основе эмпирических нормативных данных, полученных в системе «почва – растение – удобрение», установить оптимальные, экономически обоснованные расчетные дозы и сочетания удобрений под козлятник восточный;

4) определить оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в системе почва-растение;

5) определить экономическую и биометрическую эффективность применения минеральных удобрений под козлятник восточный.

Предметом исследования являются сочетания и дозы вносимых минеральных удобрений, их влияние на химический состав почвы, растений и на взаимосвязь между исследуемыми объектами.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях Западно-Сибирского Нечерноземья, используя принципы почвенно-растительной диагностики «ИСПРОД», на основании данных полевых опытов,

лабораторных исследований и статистических методов анализа разработаны математические модели продуктивности кормовой культуры козлятника восточного. Выявлены математические закономерности, отражающие зависимость влияния химического состава почвы, доз применяемых минеральных удобрений на формирование величины и качества урожая козлятника восточного. Определены нормативные агрохимические в почве и физиологические показатели минерального питания культуры, позволяющие оптимизировать питание в процессе роста и развития козлятника восточного, используя показатели «ИСПРОД» прогнозирования величины и качества урожая.

Практическая значимость работы и реализация результатов исследования. Разработанные зональные нормативные характеристики комплексного метода «ИСПРОД» позволяют диагностировать и оптимизировать минеральное питание козлятника восточного, разработать гибкую систему применения удобрений и тем самым управлять почвенным плодородием, питанием культурного растения и производственными затратами элементов питания удобрений на единицу продукции.

Результаты исследования внедрены и используются в производственной деятельности: станции агрохимической службы «Тарская», в работе и исследованиях отдела северного земледелия СиБНИИСХоза г. Тара, в хозяйствах северной зоны Омской области, в учебном процессе Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина (ОмГАУ).

Материал диссертационной работы используется в учебном пособии Омского государственного аграрного университета «Прикладная агрохимия» для студентов высших учебных заведений по специальности агрохимия.

Защищаемые положения:

- 1) агрохимические и физиологические нормативные количественные характеристики потребности козлятника восточного в элементах питания;
- 2) параметры интенсивности действия удобрений на химический состав почвы, растений, продуктивность и качество урожая козлятника восточного;
- 3) оптимальные уровни содержания и соотношения макро- и микроэлементов в системе почва – растение.

Апробация работы. Основные результаты исследований и положения работы были представлены докладами с обсуждениями на:

- 1.Международной научно-практической конференции «Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений», 16 июля 2015 г., г. Омск.

2. 51-ой Международной научной конференция молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, приуроченной к «Году экологии в Российской Федерации», 26 октября 2017 г., г. Москва.

3. Международной научно-практической конференции «Научные инновации – аграрному производству», посвященной 100-летию ОмГАУ, 21 февраля 2018 г., г. Омск.

А так же, на ежегодных научно-практических конференциях ППС и аспирантов ОмГАУ (2014-2017 гг.). Результаты научно-исследовательской работы включены в раздел ежегодного научного производственного отчета ФГБУ САС «Тарская» для Департамента г. Москвы.

Публикации. По теме исследования опубликовано 9 работ, отражающие основные положения исследования, среди которых – 4 публикации в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации.

Личный вклад. В диссертации использованы материалы полученные лично автором, а так же данные исследований, выполненные при его не посредственном участии.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 185 страницах. Состоит из введения, семи глав, заключения, предложения производству, приложения. Содержит 38 таблиц, 74 уравнения, 11 рисунков. Библиографический список включает 227 наименования, в том числе 5 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 Биологические особенности и минеральное питание козлятника восточного (обзор литературы)

В главе приведены сведения по истории возделывания многолетней кормовой культуры козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.) на территории Нечерноземной зоны Омской области. Охарактеризован вопрос регулирования почвенного плодородия пахотных угодий с помощью метода «ИСПРОД» на многолетней кормовой культуре козлятник восточный. На основании обзора научной литературы описаны биологические и морфологические особенности культуры и представлена информация по особенностям минерального питания козлятника восточного и его хозяйственного значения.

2 Объекты, методика и условия проведения исследований

Исследования проводили в 2013-2016 гг. на опытном поле отдела северного земледелия СибНИИСХ СО РАН, расположенном в подтаежной зоне Омской области. Почва опытного поля серая лесная маломощная,

грунтово-глееватая тяжелосуглинистая типичная для зоны, характеризуется низким содержанием основных элементов питания и слабокислой pH. Погодные условия в годы исследований были различны как по тепло-, так и по влагообеспеченности, но характерными для условий Западной Сибири.

Объект исследования – козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.), сорт Гале.

Схема опыта: Контроль (без удобрений); 2. N₄₅; 3. N₄₅P₁₈₀; 4. N₄₅P₃₆₀; 5. N₄₅P₅₄₀; 6. N₄₅P₁₈₀K₁₈₀; 7. N₄₅P₃₆₀K₁₈₀; 8. N₄₅P₁₈₀K₃₆₀.

Закладку опытов с удобрениями, все учёты, наблюдения проводили по общепринятым методикам (Митрофанов, Новосёлов, 1971; Доспехов, 1985; Пискунов, 2004). Урожай зелёной массы козлятника восточного учитывали при наступлении фазы бутонизация – цветения и уборку проводили методом сплошного учёта.

Для определения в почве нитратного азота применялся ионометрический метод (ГОСТ 26951-86). Аммонийный азот определялся фотометрическим методом (ГОСТ 26489-85). Гумус по Тюрину (ГОСТ 26213-91); pH – с помощью солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85); подвижный фосфор и обменный калий – из одной вытяжки по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011). Медь, марганец, кобальт в почве по методу Пейве и Ринькиса (ГОСТ Р 50684-94, 50682-94, 50687-94). Сера – в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26490-85). Бор – по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО (ГОСТ 50688-94). Молибден – по методу Григга (ГОСТ 50689-94). Цинк – по методу Крупской и Александровой (ГОСТ Р 50686-94). Гигроскопическую влагу определяли методом высушивания в сушильном шкафу при температуре 105±2°С (ГОСТ 27548-97). Сжигание растительных навесок проводили методом мокрого озоления по Пиневичу (катализатор перекись водорода); общий азот в полученном растворе определяли по Къельдалю (ГОСТ 51417-99); фосфор фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97); калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97). Биоэнергетическую эффективность применения минеральных удобрений рассчитывали по рекомендациям Ю.И. Ермохина, А.Ф. Неклюдова (1994). Оценку опытных данных и выявление различных взаимосвязей в системе «почва – удобрение – растение» производили методами дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализов (Доспехов, 1985; Пискунов, 2004).

Коэффициенты действия удобрений определяли по формуле:

$$K_d = \frac{\mathcal{E}_0}{\mathcal{E}_f}$$

где $\mathcal{E}_0$, $\mathcal{E}_f$ – оптимальное и фактическое содержание элементов питания в почве и растениях.

3 Диагностика потребности козлятника восточного в удобрениях на основе полевого опыта

В полевых опытах на серой лесной почве Западно-Сибирского Нечерноземья изучали отзывчивость козлятника восточного на минеральные удобрения, которые оказали положительное влияние на продуктивность культуры. Исследования показали, что урожайность козлятника восточного зависит от дозы и соотношения внесенных удобрений в почву до посева, возраста культуры и погодных условий. Наиболее благоприятные погодные условия для вегетации козлятника восточного наблюдались в 2015-2016 г., начало вегетационного периода 2014 г. было довольно прохладным, с небольшим количеством осадков, что так же оказало влияние на урожайность кормовой культуры козлятник восточный.

Наилучшими дозами и сочетаниями удобрений на формирование величины урожая козлятника восточного являются соотношения $N:P_2O_5:K_2O$, равных 1:4:8 (с шагом класса 45 кг д.в./га). Максимальная урожайность козлятника восточного – 142,1 т/га за год действия и три года последействия удобрений, была получена при внесении $N_{45}P_{180}K_{360}$ (1:4:8), прибавка на 46,9 % выше контрольного варианта. Другие варианты удобрений тоже обеспечили прирост урожая козлятника восточного, по сравнению с контролем. В сумме за 2013-2016 гг. прибавки зеленой массы составили от 13,2 (вариант N_{45}) до 45,4 тонн (вариант $N_{45}P_{180}K_{360}$) (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние минеральных удобрений на урожайность козлятника восточного сорта Гале (2013-2016 гг.)

Варианты опыта	Урожайность биомассы козлятника восточного, т/га				Ср. ур-ть, т/га	Прибавка		Сумма ур-ти, т/га	Прибавка		Окупаемость кг д.в. удобрений урожаем, кг
	2013	2014	2015	2016		т/га	%		т/га	%	
Контроль	2,4	22,3	30,6	41,4	24,2	-	-	96,7	-	-	-
N_{45}	3,4	24,2	33,0	49,3	27,5	3,3	12,0	109,9	13,2	13,6	293,3
$N_{45}P_{180}$	3,9	25,2	44,9	57,3	32,8	8,6	26,2	131,3	34,6	35,8	153,8
$N_{45}P_{360}$	3,8	24,4	45,0	61,1	33,6	9,4	27,9	134,3	37,6	38,9	92,8
$N_{45}P_{540}$	3,8	25,1	34,3	51,52	28,7	4,5	15,7	114,7	18,0	18,6	30,8
$N_{45}P_{180}K_{180}$	4,3	27,1	31,2	57,93	30,1	5,9	19,6	120,5	23,8	24,6	58,8
$N_{45}P_{360}K_{180}$	5,9	27,1	39,0	59,4	32,9	8,7	26,4	131,4	34,7	35,9	59,3
$N_{45}P_{180}K_{360}$	9,0	27,8	42,0	63,26	35,5	11,3	31,8	142,1	45,4	46,9	77,6
HCP_{05}	0,55	0,5	0,7	0,8	0,6	-	-	2,55	-	-	-

Экспериментальные данные показывают, что на серой лесной почве козлятник восточный хорошо реагирует на фосфорные и калийные минеральные удобрения, применяемые в основное внесение (уравнения 1-2).

$$Y \text{ т/га} = 0,068 \cdot X_1 + 119,1; r=0,84 \quad (1) \quad Y \text{ т/га} = 0,030 \cdot X_1 + 134,9. r=0,76 \quad (2)$$

Из уравнений следует, что с применением каждого килограмма фосфора и калия в почву под козлятник восточный урожайность увеличивается на 0,068 и 0,030 т/га.

Полученные нормативны можно использовать при расчете планируемых прибавок урожая (П т/га) козлятника восточного по формуле (3 и 4):

$$P, \text{ т/га} = D \text{ кг д.в./га} / b'' \quad (3); \quad P, \text{ т/га} = D \text{ кг д.в./га} / b_{p,k}'' \quad (4);$$

где D кг д.в./га – доза внесения фосфора или калия при нормативах b'' – 0,068 или 14,7 кг/т (1/0,068) и $b_{p,k}''$ – 33,3 кг/т (1/0,03) соответственно.

Эффективность доз удобрений зависит от ряда факторов и, в первую очередь, является функцией химического состава почвы (X_p) [$D = f \cdot X_p$]. Зависимость между дозой удобрений и элементами питания в почве обратная и практически ее можно принять линейной (Ермохин, Кочергин, 1983; Ермохин, 1995), следовательно, чем выше величина азота, фосфора и калия в почве, тем ниже дозы внесения удобрений.

Ниже предложены формулы расчета доз удобрений (5-6):

$$D_0 \cdot X_0 = D_p \cdot X_p, \quad (5) \quad \text{отсюда:} \quad D_p = \frac{D_0 \cdot X_0}{X_p} \quad (6)$$

где D_0 – установленные оптимальные дозы удобрений в кг д.в./га ($N_{45}P_{180}K_{360}$), при фактическом содержании их в почве (X_0), мг/кг; ($N-NO_3 - 9,2, P_2O_5 - 76,0, K_2O - 63,5$); D_p – прогнозируемая доза азота, фосфора и калия удобрений, кг/га, в зависимости от содержания элементов питания в почве мг/кг (X_p).

Ниже предложены формулы расчета доз удобрений (7-9):

$$D_N = (45 \cdot 9,5) / N-NO_3 \text{ мг/кг} = 427,5 / N-NO_3 \text{ мг/кг}; \quad (7)$$

$$D_{P_2O_5} = (180 \cdot 75,4) / P_2O_5 \text{ мг/кг} = 13572,0 / P_2O_5 \text{ мг/кг}; \quad (8)$$

$$D_{K_2O} = (360 \cdot 63,4) / K_2O \text{ мг/кг} = 22824 / K_2O \text{ мг/кг}. \quad (9)$$

Таким образом, на основе проведенных полевых опытов с удобрениями на серой лесной почве с козлятником восточным и лабораторными исследованиями были предложены простые формулы для расчета доз применения удобрений под козлятник восточный, с учетом фактического содержания доступных элементов в почве, которые позволяют отойти от простого эмпиризма с применением удобрений и ориентироваться на конкретные дозы удобрений (Ермохин, 1999; 2014).

4 Диагностика потребности козлятника восточного в удобрениях на основе данных химического анализа почвы

Использование метода обратной связи в системе «удобрение (X, кг NPK) ↔ почва (Y, мг NPK/га)» позволяет оценить идентификацию ответной реакции серой лесной почвы на введение элементов (удобрений) в почву («b_N», «b_{P₂O₅}», «b_{K₂O}»), что позволяет сделать прогноз накопления элементов питания в почве при фактическом применении удобрений (формула 10):

$$C = C_1 + D \cdot «b», \quad (10)$$

где C, C₁ – содержание в почве элементов питания растений до и после применения удобрений, мг/кг; D – доза внесения элемента в почву, кг д.в./га; «b» – коэффициент интенсивности действия единицы внесенного удобрения, мг/кг (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты интенсивности действия внесенных удобрений (b x/y) на химический состав почвы, мг/кг

Удобрения	Показатели связи удобрение-почва		
	«b» _{P₂O₅}	«b» _{K₂O}	Уровень оптимального баланса, мг/кг
Д _{P₂O₅} , кг/га	0,131	0,024	$C_{P_2O_5} = C_1 + D_N \cdot b_p + D_p \cdot b_p + D_K \cdot b_p$ (11)
Д _{K₂O} , кг/га	0,110	0,110	$C_{K_2O} = C_1 + D_N \cdot b_K + D_K \cdot b_K + D_p \cdot b_K$ (12)
Д _N , кг/га	0,270	0,111	

В диссертации представлены уравнения: 12-14 (по фосфору); 15-16 (по азоту) и 17 (по калию), соответствующие данным «b» – таблица 2.

Следовательно, между уровнем внесенных удобрений в почве возникает определенное ионное равновесие, объединяющее закон минимума и максимума. Таким образом, появляются новые научные принципы применения удобрений, в виде синергизма и антагонизма действия макроэлементов, которые следует учитывать (Voisin, 1964; Ермохин, 2014; Ермохин, Синдерева, 2002).

Используя метод математического моделирования опытных данных 2013-2016 гг. были получены эмпирические уравнения регрессионного типа зависимости формирования биомассы козлятника (Y₁, т/га) от содержания в слое почвы 0-30 см P₂O₅ мг/кг (X₁), при внесении в почву различных доз удобрений (уравнение 13):

$$Y_1 = 0,59 \cdot X_1 + 54,0; \quad r=0,99 \quad (13)$$

Из уравнения 13 следует, что с увеличением содержания в почве P_2O_5 на один мг/кг – урожайность биомассы козлятника увеличивается на 0,59 т/га.

При статистической обработке данных уровней содержания обменного калия в серой лесной почве 0-30 см (X_2 , мг/кг) и урожайности биомассы (Y , т/га) была получена высокая корреляционная связь (0,96) и эмпирическое уравнение (14) зависимости формирования урожайности козлятника восточного от содержания в почве обменного калия:

$$Y = 0,87 X_2 + 44,3, r = 0,96 \quad (14)$$

Полученное уравнение регрессии (14) показывает, что каждый мг K_2O /кг почвы увеличивает урожайность козлятника восточного на 0,87 т/га.

Данные уравнений 13, 14 позволяют спрогнозировать не только урожай, но и оптимальные уровни содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве при планируемых величинах урожая козлятника восточного (ПУ, т/га) – формула 15:

$$C_{\text{опт.}, \text{ мг/кг}} = X_1, \text{ мг/кг} + (ПУ, \text{ т/га} - ФУ, \text{ т/га})/b \quad (15)$$

где ПУ – планируемая урожайность козлятника восточного при возделывании на серой лесной почве; X_1 – фактическое содержание P_2O_5 и K_2O в почве, мг/кг; ФУ – фактическая урожайность.

Расчеты показывают:

P_2O_5 мг/кг (оптим.) = $75,4 \text{ мг/кг} + (142,1 \text{ т/га} - 96,7 \text{ т/га})/0,59 = 152,3 \text{ мг } P_2O_5/\text{кг}$;

K_2O мг/кг (оптим.) = $63,4 \text{ мг/кг} + (142,1 - 96,7)/0,87 = 115,6 \text{ мг/кг}$.

Таким образом, согласно формуле 15 оптимальными уровнями для получения урожая 142,1 т/га требуется: подвижного P_2O_5 – 152,3 мг/кг, обменного K_2O – 115,6 мг/кг.

Диагностика азотного питания растений в рамках системы “ИСПРОД” (интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики) базируется на концепции единства почвы и растений, тесно связывая его с фосфорно-калийным питанием. Накопление азота мобилизации в почве (N_m) определяется по формуле (16):

$$N_{M, \text{ кг/га}} = B, \text{ кг/га} + N_O - N_H, \text{ кг/га}; \quad (16)$$

В диссертации (таблица 16-17) представлены данные по динамике N_m в серой лесной почве (варианты опыта); балансу азота $N-NO_3$ (B_{N-NO_3} , кг/га) – формулы (17-18) в оптимальном варианте опыта ($N_{45}P_{180}K_{360}$), выносу азота (N_B , кг/га) и $N-NO_3$ (N_H) в почве до посева.

$$B_{N-NO_3} = N_H + N_M, \text{ кг/га}; \quad (17)$$

$$B_{N-NO_3} = N_B / \text{КИП}, \text{ кг/га}; \quad (18)$$

Пример расчета баланса: $B_{N-NO_3} = 35,5 \text{ кг} + 119,8 \text{ кг} = 155,3 \text{ кг/га}$;

$B_{N-NO_3} = 118,1 / 0,76 = 155,3 \text{ кг/га}$.

Данный уровень содержания N-NO₃ в почве – 35,5 кг/га, как оптимальная величина для козлятника восточного подтверждается методом расчета (формула 19).

$$D_N = (N_B / \text{КИП}) - N_M = (118,1 / 0,76) - 119,8 = 35,5 \quad (19)$$

При комплексном подходе к диагностике питания козлятника восточного необходимо иметь оптимальные уровни и соотношения основных элементов питания в почве, их вынос единицей урожая, коэффициентов КИП, КИУ, ПЭУ и другие параметры которые используются при расчете доз удобрений.

В таблице 19-20 диссертации и приложении В, таблица В.1 показаны вынос азота из почвы растением, баланс азота (Б_н, кг/га) в почве, азот мобилизации (N_м, кг/га), т.е. параметры, связанные с формированием азота, фосфора и калия в почве, величиной урожая и КИП элементов питания из почв (таблица 3).

Рассчитывая коэффициенты использования элементов из почвы:

КИП по P₂O₅, K₂O формула 20:

$$\text{КИП}_{P_2O_5, K_2O} = B_y \text{ кг/га} / C \text{ кг/га в почве}, \quad (20)$$

КИП по азоту формула 21:

$$\text{КИП}_N = \frac{B_N}{B_N + N_{\text{ост.}}}, \quad \text{или} \quad \text{КИП}_N = \frac{B_N}{N_1 + N_M}. \quad (21)$$

Таблица 3 – Динамика использования элементов питания почвы в зависимости от возраста козлятника восточного

Варианты	Содержание в почве, мг/кг			Вынос, кг/га			КИП, %		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
первый год									
Контроль	22,1	182,4	152,4	7,9	4,5	11,34	27	2	7
N ₄₅ P ₁₈₀ K ₃₆₀	35,5	350,4	296,4	17,7	25,1	46,8	51	7	16
второй год									
Контроль	22,1	179,5	149,3	69,1	40,1	100,5	76	22	67
N ₄₅ P ₁₈₀ K ₃₆₀	35,5	338,0	293,0	99,9	78,3	145,6	76	23	50
третий год									

Контроль	22,1	179,0	152,0	54,8	53,0	92,0	68	29	61
N ₄₅ P ₁₈₀ K ₃₆₀	35,5	371,0	243,0	91,9	96,0	192,0	74	26	79
четвертый год									
Контроль	22,1	182,8	155,2	76,8	67,2	105,6	75	37	68
N ₄₅ P ₁₈₀ K ₃₆₀	35,5	379,2	247,0	96,4	106,0	189,0	75	28	77
средний за 4 года									
Контроль	22,1	181,1	152,2	60,8	47,0	88,54	73	26	58
N ₄₅ P ₁₈₀ K ₃₆₀	35,5	359,6	269,9	118,1	90,1	166,0	76	25	62

В таблице 3 показана динамика использования элементов питания козлятником восточным в зависимости от возраста, т.е. физиологических характеристик растений, агрохимических параметров НРК почвы и типичных внешних условий.

Данные нормативные показатели могут успешно использоваться при разработке системы применения удобрений под козлятник восточный, располагая оптимальными уровнями и соотношением элементов питания в почве (таблица 4).

Таблица 4 – Оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в серой лесной почве (2013-2016 гг.)

Содержание	Макроэлементы					Микроэлементы					
	P ₂ O ₅	N-NO ₃	N-NH ₄	K ₂ O	S	Mn	Cu	Zn	B	Co	Mo
Оптим., мг/кг	150	15	2,5	112	34	44	9,5	2,8	1,7	1,2	1,3
Оптимальное соотношение											
P ₂ O ₅ ≈10(N-NO ₃)≈2,6(N-NH ₄)≈ 1,33(K ₂ O)≈4,4S;						Mn≈4,6Cu≈15,7Zn≈25,9B≈ 36,7Co≈33,8Mo.					

Дополнительно, на основании проведенных химических анализов серой лесной почвы, для отображения полной картины ионного равновесия приведены данные по содержанию и соотношению микроэлементов, а так же аммиачного азота и серы, которые поясняют, что именно при таком химическом составе в почве проявляются положительные действия внесенных минеральных удобрений (в диссертации приложение Д, таблица Д.4).

Согласно комплексного метода “ИСПРОД” (научной школы профессора Ю.И. Ермохина) эффективности удобрений, минерального питания растений

(овощных, кормовых, зерновых, масличных, лекарственных, культур и корне- клубнеплодов) оптимальные уровни содержания элементов питания в почве и растениях, их уравновешенное состояние можно с успехом использовать при прогнозировании действий и очередности применения удобрений, используя следующую формулу:

$$K_n = \frac{N, P, K, \text{ мг/кг или \% (опт.)}}{N, P, K, \text{ мг/кг или \% (факт.)}} \quad \text{или} \quad K_n = \frac{N:P, N:K, P:K \text{ и т.д. (опт.)}}{N:P, N:K, P:K \text{ и т.д. (факт.)}}$$

Если $K_n > 1$, то растения нуждаются в данном элементе и тем сильнее, чем больше коэффициент. При $K_n < 1$ – потребность культуры в этом элементе отсутствует.

Данный подход позволяет управлять эффективным почвенным плодородием и питанием культурных растений, в нашем случае козлятника восточного (Ермохин, 1983, 2011, 2014; Лихоманова, 1986; Володина, 1986; Масалкин, 1986; Ракицкий, 1989; Трубина, 1993; Свешников, 1993; Проберж, 2002; Синдирева, 2002; Бобренко, 2005 и др.).

Расчёт доз удобрений проводится по формуле 22:

$$D = K_n \cdot P \cdot H. \quad (22)$$

5 Химический анализ растений как метод определения потребности козлятника восточного в удобрениях (растительная диагностика)

Основные положения растительной листовой диагностики были сформулированы и развиты в работах Лагатю и Мома (Lagatu, Maume, 1926, 1930), Томаса (Thomas, 1937, 1945), Церлинг (1962, 1968), З.И. Журбицкого (1963), К.П. Магницкого (1972), Н.К. Болдырева (1961, 1965, 1970, 1972).

В связи с тем, что химический состав сельскохозяйственных культур является сравнительно устойчивой величиной, всяческие отклонения от него связаны с изменением условий минерального питания (таблица 5). Именно по степени отклонения содержания питательных веществ от оптимальных значений можно сделать вывод об обеспеченности химическими элементами, А. Кенуори (1964), Х.Хилл (1964).

Таблица 5 – Связь между дозами азота, фосфора и калия удобрений (X кг д.в./га) и валовым содержанием данных элементов в растениях козлятника восточного (фаза цветения) (2014-2016 гг.)

Удобрения (X)	Увеличение содержания в растениях, %			Коэффициент «b» x/y		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	b _N	b _P	b _K
Д N, кг/га	0,21	0,05	0,19	0,002	0,0007	0,0004
Д P ₂ O ₅ , кг/га	0,05	0,16	0,05	0,003	0,0001	0,0002
Д K ₂ O, кг/га	0,02	0,25	0,60	0,0004	0,0001	0,0003

С увеличением запасов питательных веществ в почве, благодаря возрастающим дозам удобрений, происходит увеличение процентного содержания элементов питания в растении козлятника восточного. Каждый килограмм внесенного азота (N₄₅) в почву повышает процентное содержание общего азота, фосфора и калия в растениях козлятника восточного соответственно на 0,21, 0,05, 0,19% (таблица 5).

Применение каждого килограмма P₂O₅ удобрения в почву под козлятник восточный увеличивает в среднем за 2014-2016 гг. в растениях козлятника восточного в фазу цветения (в %) на 0,05 азота и калия, на 0,16 фосфора (P₂O₅), что соответствует коэффициентам (приложение Е, таблицы Е.2) интенсивности внесенных удобрений в почву на химический состав («b» x/y) в фазу цветения: «b_N»– 0,003, «b_P»– 0,0001 и «b_K»– 0,0002 (таблица 5).

Внесение каждого килограмма калийного удобрения в почву под козлятник восточный производит идентификацию ответной реакции растений в виде увеличения содержания NPK, что соответствует коэффициентам интенсивного действия («b»_{x/y}) на химический состав растений в следующих измерениях: «b_N» –0,0004, «b_P» – 0,0001 и «b_K» – 0,0003 % (в диссертации приложение Е, таблицы Е.3).

Знание количественных нормативных характеристик («b») дает возможность предсказывать химический состав растений (% , Хп) в результате применения удобрений по формулам 23-25 (таблица 6):

$$\%N = \%N_{\text{н}} + N_{45} \cdot \langle b_N \rangle + ДР_{180} \cdot \langle b_N \rangle + ДК_{360} \cdot \langle b_N \rangle = 1,92, \quad (23)$$

$$\% P_2O_5 = \%P_{2O_{5\text{н}}} + N_{45} \cdot \langle b_P \rangle + ДР_{180} \cdot \langle b_P \rangle + ДК_{360} \cdot \langle b_P \rangle = 1,45, \quad (24)$$

$$\% K_2O = \% K_{2O_{\text{н}}} + N_{45} \cdot \langle b_K \rangle + ДР_{180} \cdot \langle b_K \rangle + ДК_{360} \cdot \langle b_K \rangle = 2,42. \quad (25)$$

Таблица 6 – Оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в растениях козлятника восточного (фаза цветения)

Укосы растений	Содержание в %					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P	K
первый	1,60	1,30	2,72	1,60	0,57	2,26
второй	2,10	1,57	2,63	2,10	0,68	2,18
уравновешенное питание						
первый	%N≈1,23%P≈0,59%K			% N≈2,96%P≈0,75%K		
второй	%N≈1,34%P≈0,80%K			% N≈3,1%P≈0,96%K		

Таким образом, на основе выявленных связей в системе: «почва-удобрение-растение», полученных интенсификаций прямой и обратной связи («b_{x/y}»), составленных уравнений физиологически оптимальных уровней уравновешенного питания растений получены оптимальные уровни и ионное равновесие элементов питания в растениях в фазу цветения, каждый процент фосфора притягивает 2,96 и 3,1 процента азота, а процент калия 0,75 и 0,96 при первом и втором укосах, в сумме за четыре года, при формировании 142,1 т/га за год действия и три года последействия удобрений (таблица 6).

В связи с этим, исходя из установленных оптимальных (Э_о) параметров химического состава растений, согласно системы «ИСПРОД» предлагаются методы расчета доз удобрений под козлятник восточный на основе полевого анализа (формулы 26-27):

$$Д = \frac{(\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi)^2}{\langle b \rangle \cdot \mathcal{E}_o}, \quad (26) \quad Д = \frac{(\mathcal{E}_\phi \cdot K_n - \mathcal{E}_\phi)^2}{\mathcal{E}_\phi \cdot K_n \cdot \langle b \rangle} \quad (27)$$

6 Удобрения и качество урожая козлятника восточного

Содержание сырого протеина в абсолютно-сухой массе козлятника восточного имеет тесную связь с уровнем содержания валового азота в растениях (рисунок 1 и 2, уравнения 28-29):

$$\text{Первый укос } Y_N = 6,25 \cdot X + 0,007; \quad r = 0,99 \quad (28)$$

$$\text{Второй укос } Y_N = 6,18 \cdot X + 0,12. \quad r = 0,99 \quad (29)$$

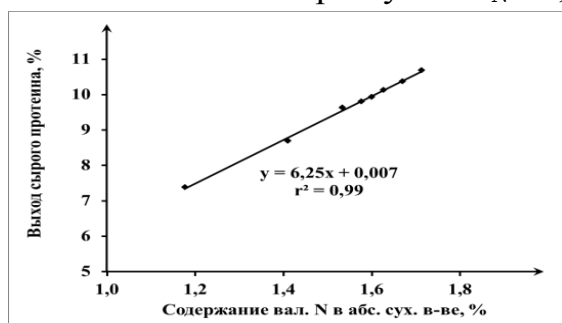


Рисунок 1 - Связь между содержанием %N в растениях первого укоса козлятника восточного и биосинтезом сырого протеина

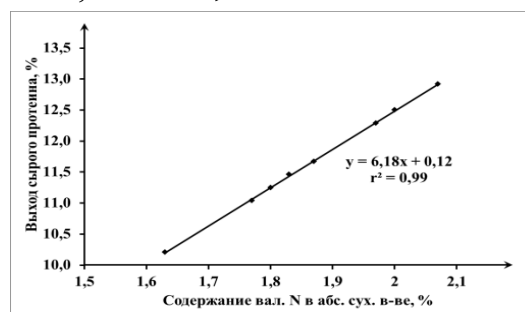


Рисунок 2 - Связь между содержанием %N в растениях второго укоса козлятника восточного и биосинтезом сырого протеина

Содержание сырого протеина в растениях оптимального варианта было 9,94% (контрольный – 8,69%), а для кормовых единиц уменьшилось от 0,87 до 0,54 кг/кг урожая или выход с 1 га снижался с 2958 до 1350 ед. кг/га.

Кормовая ценность растений козлятника восточного была выше при втором укосе по сравнению с первым, что связано с преобладанием в травостое отавы листьев – 70-80%. Содержание в растениях протеина при оптимальном питании было 12,94% (коэффициент 10,0), а выход – 414,1 кг/га (контроль 193,6 кг/га).

По уровню содержания азота, фосфора, калия и ряда микроэлементов в растениях, при оптимизации минерального питания по системе «ИСПРОД» качество растениеводческой продукции повышается.

Таким образом, на основе полученных уравнений 28 и 29 возникает возможность в период роста и развития растений диагностировать и управлять формированием качества растениеводческой продукции.

7 Биоэнергетическая и экономическая оценка эффективности применения минеральных удобрений под козлятник восточный на серых лесных почвах нечерноземной зоны западной Сибири

Энергетическая эффективность минеральных удобрений определяется по энергоотдаче или по биоэнергетическому коэффициенту полезного действия (КПД) их применения. В наших исследованиях установлено, что при выращивании козлятника восточного с применением полного минерального удобрения в сочетании азота, фосфора и калия коэффициент полезного действия изменяется в пределах от 2,16 до 2,88 МДж. При разовом внесении удобрений $N_{45}P_{180}K_{360}$ коэффициент полезного действия получен в сумме за четыре года 2,88 МДж, что указывает на высокую энергоотдачу совместного применения азотно-фосфорно-калийных удобрений в сочетании 1:4:8 в оптимальных дозах.

При анализе экономической эффективности применения минеральных удобрений, установлено, что наибольшие экономические затраты (63532 и 62162 руб./га) наблюдаются с внесением самых высоких доз фосфорных ($N_{45}P_{540}$) и фосфорно-калийных удобрений ($N_{45}P_{360}K_{180}$) в сочетании 1:12:0 и 1:8:4 (диссертация таблица 38). Снижение себестоимости на 22 % произошло в вариантах, где получены высокие урожай биомассы козлятника восточного, особенно в варианте, где вносились минеральные удобрения в дозе $N_{45}P_{180}K_{360}$ (до 428,0 руб/га). Применение одного азотного удобрения в почву снижало себестоимость продукции на 14,2% (или до 465 руб./га), по сравнению с контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Под многолетнюю кормовую культуру козлятник восточный в условиях подтаежной зоны Западной Сибири на серой лесной почве при содержании в слое 0-30 см нитратного азота – 9,5, подвижного фосфора – 75,4, обменного калия – 63,4 мг/кг, установлены оптимальные дозы минеральных удобрений ($N_{45}P_{180}K_{360}$). Максимальная урожайность биомассы козлятника восточного за 2013-2016 г.г. от одного года действия и трех лет последействия азотно-фосфорно-калийных удобрений ежегодно на этом варианте составила 35,5 т/га, что на 46,7% выше контрольного. Положительное действие и последействие минеральных удобрений, при разовом применении под козлятник восточный, проявилось в течении 4-х лет, что позволило получить в сумме 142,1 т/га, при контрольном варианте урожая 96,7 т/га. Каждый килограмм внесенных в почву удобрений в сочетании 1:4:8 дал дополнительно за четыре года 77,6 кг биомассы кормовой культуры.

2. С целью прогнозирования содержания элементов питания в серой лесной почве и расчета доз вносимых минеральных удобрений на основе математических моделей связи в системе: «NPK удобрений – почва» – идентификации ответной реакции данной почвы, установлены количественные характеристики ($\langle b \rangle_{x/y}$) интенсивности действия единицы поступившего элемента удобрений на химический состав почвы, мг/кг (D_N , кг/га: $\langle b_N \rangle$ – 0,27, $\langle b_{K_2O} \rangle$ – 0,11; DP_2O_5 , кг/га: ($\langle b \rangle_{P_2O_5}$ – 0,131: $\langle b \rangle_{K_2O}$ – 0,024; DK_2O , кг/га: $\langle b \rangle_{P_2O_5}$ – 0,11, $\langle b \rangle_{K_2O}$ – 0,11) и предложены формулы (в диссертации 19-20).

3. Установлена высокая зависимость урожайности козлятника восточного от содержания подвижного фосфора и обменного калия в слое 0-30 см почвы (уравнения 22, 23), что создало предпосылки к разработке оптимальных уровней содержания (а, мг/кг) и соотношения (б и в мг/кг) элементов в почве для конкретных урожаев данной культуры, мг/кг:

а) $N-NO_3$ – 15,5; $N-NH_4$ – 2,5; P_2O_5 – 150; K_2O – 112; S – 34; Mn – 44, Cu – 9,5; Zn – 2,8; B – 1,7; Co – 1,2; Mo – 1,3 мг/кг;

б) $P_2O_5 \approx 9,7(N-NO_3) \approx 2,6(N-NH_4) \approx 1,33(K_2O) \approx 4,4S$;

в) $Mn \approx 4,6Cu \approx 15,7Zn \approx 25,9B \approx 36,7Co \approx 33,8Mo$;

4. Разработаны агрохимические и физиологические характеристики эффективности применения азотно-фосфорно-калийных удобрений под козлятник восточный при возделывании на серой лесной почве: коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП, %): $N-NO_3$ – 76; P_2O_5 – 25; K_2O – 62; показатель эффективности удобрений (ПЭУ, %): N-

NO_3 – 97,1; P_2O_5 – 18,5; K_2O – 17,1. Количественная характеристика мобилизации азота в почве под растением в процессе онтогенеза культуры – $N_m = 119,8$ кг/га.

5. На основе математического моделирования связи в системе «почва-растение-урожай» с использованием данных полевых опытов почвенного и растительных анализов были установлены оптимальные уровни и соотношения элементов питания в растениях (%) в фазу цветения: первый укос $N - 1,60$, $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,57$ и $\text{K}_2\text{O} - 2,26$; второй укос: $N - 2,10$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,68$, $\text{K}_2\text{O} - 2,18$. Согласно, ионного равновесия в растении - каждый процент фосфора притягивает 2,96 и 3,1 % азота, а один % калия 0,75 и 0,96 % процента азота при биосинтезе сухого вещества (уравнения 62, 63), что позволяет по формулам растительного анализа на ходу процесса роста и развития влиять на величины и качество урожая.

6. Установлены зависимости между содержанием азота в растениях в фазу цветения и биосинтезом протеина, что позволило предложить формулы расчета протеина в фазу цветения растений козлятника восточного:

$$\text{Первый укос } Y_N = 6,25 \cdot X + 0,007; r = 0,99;$$

$$\text{Второй укос } Y_N = 6,18 \cdot X + 0,12. r = 0,99$$

Предложенный комплексный метод почвенно-растительной оперативной диагностики в условиях Западно-Сибирского Нечерноземья позволяет создать гибкую систему удобрения полей, нести дежурство в применении удобрений, чтобы не нарушить равновесие элементов питания в почве и растениях и улучшить биологическое качество растениеводческой продукции. Использование полученных характеристик позволяет научно прогнозировать действие азотно-фосфорно-калийных удобрений на урожайность, химический состав почвы и растений и проводить коррекцию питания козлятника восточного, используя формулы растительного анализа:

$$D = (\Theta_o - \Theta_f)^2 / («b» \cdot \Theta_o); D = K_p \cdot P \cdot N$$

где, Θ_o и Θ_f – оптимальное и фактическое содержание элементов питания; «b» – коэффициент интенсивности действия единицы внесённого минерального удобрения (1 кг д.в./га) на химический состав почвы (мг/кг); K_p – потребность культуры во внесении минеральных удобрений, кг/га; P – прибавка урожая, т/га; D – доза удобрения, кг/га.

7. Установлена высокая биоэнергетическая и экономическая эффективность применения азотно-фосфорно-калийных минеральных удобрений под козлятник восточный ($\eta = 2,88$). Не смотря на высокие затраты связанные с технологией возделывания козлятника восточного ($N_{45}P_{180}K_{360}$) – 60792 руб. за гектар и 21540,9 МДж/га, чистый доход за счет удобрения составил 53018 рублей, прирост энергии 226343,1 МДж/га, при

рентабельности 87,2%, себестоимости продукции 428 руб./га ниже не удобренного варианта в 1,3 раза.

8. При возделывании козлятника восточного на серой лесной почве Западной Сибири с целью получения высокого и качественного урожая минеральные удобрения следует применять на основе разработанных нормативных показателей комплексного метода почвенно-растительной диагностики (система «ИСПРОД-ОмГАУ», Ю.И. Ермохин, 1983) учитывающего три основных принципа:

1) способности почв удовлетворить потребность растений козлятника восточного в питательных веществах (NPK и ряда микроэлементов);

2) потребности растений и их способности к усвоению питательных веществ в конкретных условиях сельскохозяйственного производства (КИУ, ПЭУ, КИП, Nм, вынос элементов питания);

3) состоянии питания растений и расчета доз удобрений в период роста и развития (оптимальные уровни и соотношение макро- и микроэлементов в растениях козлятника восточного в фазу (цветения), Кп – коэффициент потребности в питательных веществах, «b_N», «b_P», «b_K» - коэффициенты интенсивности действия внесенных удобрений на его химический состав). Модель режима минерального питания козлятника восточного приведена на рисунке 3:

МОДЕЛЬ РЕЖИМА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО СИСТЕМА «ИСПРОД-ОмГАУ»

«СИСТЕМА РД»
оптимальные уровни в растениях

Укосы растений	Содержание в %							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mo	Co	Mn	Cu	Zn
первый	1,60	1,30	2,72	2,25	0,118	32,10	3,31	26,1
второй	2,10	1,57	2,63	2,41	0,134	32,26	3,47	26,26

Расчет доз вносимых минеральных удобрений, кг д.в./га:
- на основе РД, для коррекции питания:
$$Д = \frac{(\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi)^2}{\langle b \rangle \cdot \mathcal{E}_o} , \quad Д = Кп \cdot П \cdot Н.$$

- на основе ПД, в основное внесение:
$$Д_n = \frac{Д_o - X_o}{X_n} .$$



	Первый год жизни			Второй год жизни			Третий год жизни			Четвертый год жизни		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос, кг/га	18	25	47	99	78	146	92	96	192	96	106	189
КИП, %	35	7	16	76	23	50	72	26	79	73	28	77
Nм, кг/га	37	-	-	116	-	-	121	-	-	128	-	-

«СИСТЕМА ПД»

Оптимальное содержание:

Оптимальное соотношение:

а) N-NO₃ –15,0; N-NH₄ – 2,5; P₂O₅ – 150; K₂O- 112; S – 34;
Mn – 44, Cu – 9,5; Zn – 2,8; B – 1,7; Co – 1,2; Mo – 1,3 мг/кг.
P₂O₅≈10(N-NO₃)≈2,6(N-NH₄)≈1,33(K₂O)≈4,4S;
Mn≈4,6Cu≈15,7Zn≈25,9B≈36,7Co≈33,8Mo.

Рисунок 3 – Модель режима минерального питания козлятника восточного на основе интеграционной системы почвенно (ПД)-растительной (РД) оперативной диагностики «ИСПРОД-ОмГАУ» (Ю.И. Ермохина, 1983), разработанная на основе научно-исследовательской работы 2013-2016 гг.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

На серой лесной почве Западной Сибири при возделывании козлятника восточного, минеральные удобрения (вносимые под основную обработку в запас на 4 года с целью получения наивысшей урожайности, а также экономии трудовых и денежных ресурсов), следует применять в дозах $N_{45}P_{180}K_{360}$ кг д.в./га или в соотношении 1:4:8, на основе разработанных нормативных показателей комплексного метода почвенно-растительной диагностики (система «ИСПРОД»):

1) оптимальный состав (**а, мг/кг**) и соотношение (**б, мг/кг**) макроэлементов, (**в, мг/кг**) и дополнительно микроэлементов, обеспечивающий стабильный урожай зеленой массы:

а) $N-NO_3 - 15,5$; $N-NH_4 - 2,5$; $P_2O_5 - 150$; $K_2O - 112$; $S - 34$; $Mn - 44$, $Cu - 9,5$; $Zn - 2,8$; $B - 1,7$; $Co - 1,2$; $Mo - 1,3$ мг/кг;

б) $P_2O_5 \approx 9,7(N-NO_3) \approx 2,6(N-NH_4) \approx 1,33(K_2O) \approx 4,4S$;

в) $Mn \approx 4,6Cu \approx 15,7Zn \approx 25,9B \approx 36,7Co \approx 33,8Mo$;

2) коэффициенты использования элементов питания из почвы, %:

а) $N-NO_3 - 76$; **б)** $P_2O_5 - 25$; **в)** $K_2O - 62$;

3) показатель эффективности удобрений в слое почвы 0-30 см, %: $N-NO_3 - 97,1$; $P_2O_5 - 18,5$; $K_2O - 17,1$;

4) нормы потребления элементов питания, кг/т: $N - 3,3$; $P_2O_5 - 2,5$; $K_2O - 4,7$.

5) оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в растениях козлятника восточного в фазу цветения.

Фаза цветения	Валовое содержание, %					
	N	P_2O_5	K_2O	N	P	K
Первый укос	1,60	1,30	2,72	1,60	0,57	2,26
Второй укос	2,10	1,57	2,63	2,10	0,68	2,18
Оптимальное соотношение						
$\% N = 2,96 \cdot \% P_2O_5 = 0,75 \cdot \% K_2O$				$\% N = 9,1 \cdot \% P_2O_5 = 0,96 \cdot \% K_2O$		

6) расчет доз вносимых минеральных удобрений проводить по формулам:
– в основное внесение на основе химического состава почвы:

$$D_N = 427,5 / N-NO_3 \text{ мг/кг};$$

$$D_{P_2O_5} = 13572,0 / P_2O_5 \text{ мг/кг};$$

$$D_{K_2O} = 22824 / K_2O \text{ мг/кг}.$$

– для коррекции питания на основе растительной диагностики:

$$Д = \frac{(\Theta_o - \Theta_{\phi})^2}{\langle b \rangle \cdot \Theta_o}, \quad Д = K_{\Pi} \cdot \Pi \cdot Н.$$

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации:

1 Ермохин Ю.И. Величина накопления доступного азота почвы в динамике под растениями козлятника восточного и его практическое использование / Ю.И. Ермохин, О.В. Илюшкина // Омский научный вестник. – 2015. – №1 (138). – С. 88-90.

2 Ермохин Ю.И. Диагностика минерального питания, эффективности удобрений, на основе полевого опыта козлятника восточного с удобрениями на серой лесной почве нечернозёмной зоны Омской области / Ю.И. Ермохин, О.В. Илюшкина // Омский научный вестник. – 2015. – №1 (138). – С. 91-93.

3 Ермохин Ю.И. Оптимизация минерального питания козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) на основе почвенной диагностики серой лесной почвы / Ю.И. Ермохин, О.В. Илюшкина // Вестник Омского ГАУ. – 2017. – №3 (27). – С. 35-41.

4 Ермохин Ю.И. Урожайность козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) в зависимости от уровня содержания элементов питания в серой лесной почве / Ю.И. Ермохин, О.В. Илюшкина // Вестник Омского ГАУ. – 2017. – №4(28). – С. 33-38.

Публикации в рецензируемых журналах и материалах конференций:

5 Илюшкина О.В. Эффективность применения минеральных удобрений под многолетнюю кормовую культуру козлятник восточный в условиях Западно-Сибирского Нечерноземья / О.В. Илюшкина, Ю.И. Ермохин, В.Н. Ильичев // Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений. Экологические аспекты природопользования: сб. мат. посвящ. 80-летию со дня рождения профессора, основателя и руководителя научной школы Ю.И. Ермохина, ОмГАУ. – Омск: Изд-во ЛИТЕРА, 2015. – С. 73-82.

6 Илюшкина О.В. Эффективность применения на фоне азотных удобрений различных доз и сочетаний фосфорно-калийных под

многолетнюю кормовую культуру козлятник восточный в условиях южно-таёжной зоны Омской области / О.В. Илюшкина, Ю.И. Ермохин, В.Н. Ильичев // Роль государственной агрохимической службы в развитии агропромышленного комплекса – прошлое, настоящее и будущее: мат. Межрегиональной науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию создания Государственной агрохимической службы Томской области. – Томск, 2015 – С. 23-27.

7 Ермохин Ю.И. Почвенная диагностика оптимизации минерального питания козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) на серой лесной почве / Ю.И. Ермохин, О.В. Илюшкина // Актуальные вопросы земледелия и растениеводства Западной Сибири: сб. науч. статей, посвящ. 80-летию со дня образования Тарской сельскохозяйственной опытной станции. ФГБНУ «СибНИИСХ». – Омск: Изд-во ЛИТЕРА, 2017 – С. 45-49.

8 Илюшкина О.В. Диагностика потребности растений в удобрениях с учетом оптимальных уровней и баланса равновесия минеральных элементов в серой лесной почве / О.В. Илюшкина // Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства: мат. 51-й Международной науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, приуроченной к Году экологии в Российской Федерации, ВНИИ агрохимии. – М.: Изд-во ВНИИА, 2017. – С. 35-40.

9 Ермохин Ю.И. Управление плодородием серых лесных почв и питание козлятника восточного в практике применения удобрений / Ю.И. Ермохин, О.В. Илюшкина // 21-я Международная науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию ОмГАУ. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2018 – С. 137-142.