

На правах рукописи

УДК 631.811:631.452

Ерегин Александр Владимирович

**ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И ИЗВЕСТКОВАНИЯ
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА
И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ
В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Москва 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина»

Научный руководитель: **Налиухин Алексей Николаевич,**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Официальные оппоненты: **Завьялова Нина Егоровна,**
доктор биологических наук, ФГБУН «Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского Федерального исследовательского центра УрО РАН, лаборатория агротехнологий, главный научный сотрудник

Дзюин Александр Герценович,
кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБУН «Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Удмуртского Федерального исследовательского центра УрО РАН, отдел агрохимии и почвоведения, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «26» мая 2022 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова». Адрес: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а и на сайте: https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/393/eregin_diss_09_03_2022.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат, в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, ученому секретарю диссертационного совета. E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
Диссертационного совета _____ **Никитина Любовь Васильевна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Сохранение плодородия дерново-подзолистых почв в зоне северного Нечерноземья – одна из ключевых задач, стоящих перед земледельцами региона. Начиная с середины 90-х годов XX века баланс по основным элементам питания, в Нечерноземной зоне России, складывался отрицательный. В первую очередь это связано со снижением уровня применения минеральных и органических удобрений, из-за чего увеличилась доля низкообеспеченных фосфором и калием почв (Шафран, 2016; Сычев и др., 2020). Немаловажным фактором, усугубляющим ситуацию, является и повышение кислотности почв, со скоростью 0,029 рН_{KCl} в год (Шильников, Аканова, 2011).

Большую помощь в решении проблемы повышения урожайности сельскохозяйственных культур и сохранении (а в перспективе и улучшения) плодородия дерново-подзолистых почв оказывают результаты стационарных полевых опытов с удобрениями (Мамченков, 1970; Панников, 1987; Державин, 1992; Лукин, 2012; Бельченко и др., 2016; Мёрзлая, Афанасьев, 2019, Сычев и др., 2020).

Несмотря на достаточно большой массив данных по влиянию различных систем удобрения на плодородие дерново-подзолистых почв, урожайность и качество сельскохозяйственных культур, большинство этих результатов получены в центральной и западной части Нечерноземной зоны. Данных по Северу Нечерноземной полосы, немного. Стоит отметить исследования О. В. Чухиной (Чухина, Жуков, 2013; Чухина и др., 2019), в которых изучаются минеральная, и органо-минеральная системы удобрения в зернопаропропашном севообороте, однако без фонов известкования.

Также серьезные исследования ведутся в Ленинградской области учеными НИИСХ «Белогорка» и Агрофизического института (Небольсин, Небольсина, 2010; Иванов и др., 2016; Яковлева, Николаева, 2018). Однако данные опыты проводятся в севооборотах с большой долей пропашных культур и без применения органо-минеральной системы удобрения. Также в данных опытах не изучается последствие систем удобрения, что весьма важно в современных условиях, ввиду возросшей стоимости минеральных удобрений.

Исследования, результаты которого представлены в работе, проведены в почвенно-климатических условиях севера Нечерноземья, в зернотравяном севообороте, с полным набором систем удобрения, изучаемых как на фоне известкования, так и без внесения извести. Таким образом, в данном опыте актуализировано сравнение действия и последствие традиционных систем удобрения на 2-х уровнях кислотности, при возделывании современных сортов сельскохозяйственных культур, организованных в традиционный для региона севооборот (зернотравяной).

Цель исследований: изучить действие и последствие различных систем удобрения на урожайность культур севооборота, баланс питательных веществ, агрохимические показатели плодородия почвы и оценить их

экономическую эффективность на фоне известкования и без применения извести.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние действия и последствий систем удобрения на разных фонах кислотности на агрохимические параметры плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы за ротацию зерноотраважного севооборота;
2. Определить влияние органической, минеральной и органо-минеральной системы удобрения на продуктивность культур зерноотраважного севооборота в зависимости от известкования;
3. Оценить влияние систем удобрения на показатели качества культур севооборота, возделываемых на разных фонах кислотности;
4. Исследовать влияние систем удобрения на фоне известкования и без применения извести на вынос питательных веществ с урожаем культур и баланс элементов питания за ротацию зерноотраважного севооборота;
5. Оценить экономическую эффективность изучаемых систем удобрения и известкования и выявить наиболее оптимальную для условий производства.

Научная новизна. В ходе исследований показано, что внесение 50 т/га навоза КРС в занятом пару совместно с минеральными удобрениями в эквивалентной по действующему веществу дозе, позволяет получать среднегодовую продуктивность зерноотраважного севооборота 51,6 ц/га и 57,3 ц/га зерновых единиц без известкования и при внесении CaCO_3 соответственно. Установлено достоверное увеличение продуктивности севооборота при известковании по 1,0 Нг на 11 % по сравнению с неизвесткованным фоном. Выявлено, что изучаемые системы удобрения способствуют сохранению плодородия почвы, а известкование по 1,0Нг обеспечивает поддержание реакции почвенной среды на уровне pH_{KCl} 5,8 – 5,9. Доказано, что положительный баланс по фосфору и калию в зерноотраважном севообороте при использовании органо-минеральной системы удобрения достигается только при сочетании с запашкой соломы зерновых культур. Исследованиями впервые показана окупаемость известкования в зависимости от применяемых систем удобрения. Выявлено, что окупаемость извести при известковании слабокислой почвы возрастает с 2,8 ц з.е./ 1 т CaCO_3 без применения удобрений до 5,7 ц з.е./ 1т CaCO_3 при совместном внесении навоза в дозе 50 т / га и НРК. В то же время, при сравнении систем удобрения, наибольшая окупаемость – 11,3 – 13,6 кг/кг наблюдается при внесении половинных доз навоза и НРК.

Практическая значимость работы. Обоснована целесообразность применения органической, минеральной и органо-минеральных систем удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Севера Нечерноземья. Полученные результаты могут быть использованы для составления проектов применения удобрений с учётом возможности использования минеральных и/или органических удобрений при направленном регулировании плодородия почв. В целом, для сельхоз-

предприятий, возделывающих зерновые и кормовые культуры в зерно-травяных севооборотах, рекомендуется внесение 50 т/га навоза КРС в занятом вико-овсяном пару с ежегодным применением минеральных удобрений в дозе $N_{50}P_{40}K_{75}$ под первые три культуры севооборота. Сочетание минерального и биологического азота за счёт азотфиксации клевера лугового, позволяет возделывать последующую зерновую культуру – овёс, без внесения азотных удобрений и получать среднегодовую продуктивность севооборота на уровне 50 ц/га з.е. При наличии слабокислых почв известкование способствует получению дополнительной прибавки урожайности 11% при уровне рентабельности 39%.

Апробация работы. Основные результаты исследований были доложены на 53-й Международной научной конференции, посвященной 115-летию со дня рождения профессора А. В. Петербургского, (ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, Москва 22 – 24 октября 2019 г.), и на IV конференции молодых ученых Почвоведение: горизонты будущего (Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 11 – 14 февраля 2020 г.).

Отдельные, полученные в ходе эксперимента данные, были доложены и обсуждены на II Всероссийской с международным участием молодежной научно-практической конференции: «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам», проведенной ВГМХА им. Н. В. Верещагина, в п. Молочном 29 ноября 2018 г.; IV Международной молодежной научно-практической конференции: «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам», проведенной ВГМХА им. Н. В. Верещагина, в п. Молочном 25 апреля 2019 г.

По теме исследования опубликовано 6 печатных работ, из них 3 – входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденных ВАК РФ.

Личный вклад автора. Автором работы проведена систематизация и обобщение как ранее полученных экспериментальных данных (опыт ведется с 2015 г.), так и данных, полученных непосредственно соискателем. Автором выполнена работа по учету урожайности, отбору почвенных и растительных образцов, их химического анализа по общепринятым методикам. Данные подвергались статистической обработке с использованием двухфакторного дисперсионного анализа, а также корреляционного и регрессионного методов. Подготовленные публикации по основным положениям работы содержат не менее 75 % непосредственного участия автора.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, методической части, результатов исследования, экономической части, выводов, предложений производству, списка литературы, приложений.

Список литературы состоит из 287 источников, в том числе 29 – иностранных.

Работа включает в себя 41 таблицу, 22 рисунка.

Объем работы составляет 191 страницу машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объекты, условия и методы исследования

Полевой опыт по изучению влияния систем удобрения на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность культур севооборота заложен в 2015 – 2017 гг. на учебно-опытном поле ФГБОУ ВО Вологодской ГМХА имени Н. В. Верещагина.

По результатам почвенного обследования почва участка опыта была классифицирована как дерново-среднеподзолистая легкосуглинистая на покровном суглинке. Перед закладкой опыта пахотный слой (0 – 20 см) обладал следующими агрохимическими характеристиками: кислотность pH_{KCl} – 5,1 – 5,2 ед., содержание органического углерода ($C_{орг.}$) – 1,50 – 1,86 % (по Тюрину) подвижного фосфора – 251 – 296 мг/кг, калия – 116 – 148 мг/кг почвы (по Кирсанову), гидролитическая кислотность составляла – 3,40 – 4,14 ммоль (экв) / 100 г, (по Каппену) сумма поглощённых оснований – 10,5 – 12,8 ммоль (экв) / 100 г почвы (по Каппену – Гильковицу) (Налиухин и др., 2015).

Объектами исследования служили культуры, организованные в следующий севооборот: 1. Вико-овсяная смесь (вика яровая сорт Льговская 22, овёс сорт Лев); 2. Озимая пшеница (сорт Московская 56); 3. Ячмень (сорт Сонет) с подсевом клевера; 4. Клевер луговой (сорт Дымковский) 1 г. п; 5. Овес (сорт Лев). Все сорта культур имели репродукцию не ниже РС 1 и включены в государственный реестр селекционных достижений по Северо-Западному региону.

Предметом исследования были следующие системы удобрения:

1. Без удобрения (контроль). 2. Органическая (навоз, 50 т/га). 3. Минеральная (NPK). 4. Первая органо-минеральная (навоз, 25 т/га + $\frac{1}{2}$ NPK). 5. Вторая органо-минеральная (навоз, 50 т/га + NPK).

Все системы удобрения были выровнены по действующему веществу, и изучались на двух фонах кислотности: без известкования ($pH_{сол.}$ 5,1 – 5,2 ед.) и с известкованием ($pH_{сол.}$ 5,8 – 5,9 ед.). Среднегодовая доза минеральных удобрений, за 3 года применения составила $N_{50}P_{40}K_{75}$. На двух последних культурах севооборота (клевере луговом и овсе) изучали последствие ранее внесённых удобрений. За ротацию севооборота (5 лет) во 2 – 4 вариантах опыта было внесено $N_{150}P_{120}K_{225}$, а в пятом варианте – $N_{300}P_{240}K_{450}$.

В качестве органического удобрения использовали навоз КРС на опилочной подстилке, с содержанием питательных веществ: N – 0,27 %, P_2O_5 – 0,24 %, K_2O – 0,45% и влажностью 80%. Из минеральных удобрений применяли: аммиачную селитру (N – 34,4%), азотно-фосфорно-калийное удобрение (N – 15% P_2O_5 – 15 % K_2O – 15 %), азофоску (АЗФК) (N – 13% P_2O_5 – 19 % K_2O – 19 %), калий хлористый (K_2O – 60 %). Известкование проводили известняковой мукой с содержанием $CaCO_3$ – 98 %, по 1,0 Нг.

Известь и навоз вносили под первую культуру севооборота (вико-овсяную смесь). В качестве основного удобрения использовали хлористый калий и азофоску и азотно-фосфорно-калийное удобрение. Аммиачную селитру использовали в качестве подкормки.

Повторность вариантов опыта – трехкратная. Площадь деланки опыта 100 м², расположение – систематическое.

Почву под посев культур подготавливали общепринятыми методами для региона исследования. Удобрения и известь вносили вручную. Сроки посева культур – оптимальные, с учетом погодных условий. Срок между внесением удобрения и посевом культуры – не более 24 часов.

Учет урожайности проводили поделяночно. Уборку зерновых культур осуществляли с помощью комбайна Samro Tertion 500, с оставлением соломы на поле, для последующей заправки. Уборку вико-овсянной смеси и клевера проводили при помощи роторной косилки КРН-3,6, агрегатированной с трактором МТЗ-82, с последующим сгребанием зеленой массы и удалением с поля.

Отбор почвенных образцов на агрохимические показатели осуществлялся на основании ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб» (с 2020 года ГОСТ Р 58595-2019), поделяночно. Зерно на химический анализ отбирали согласно ГОСТ 13586.3-2015, зеленую массу в соответствии с ГОСТ 27262-87, также со всех деланок опыта, с выделением среднего образца по варианту.

Химические анализы почвы и растений проводили согласно ГОСТам, используя общепринятые методики.

Статистическую обработку данных полевого опыта проводили в соответствии с методиками указанными Доспеховым (Доспехов, 1985).

Погодные условия вегетационного периода во время проведения опыта представлены в виде ГТК Селянинова в таблице 1.

Таблица 1. Гидротермический коэффициент Селянинова вегетационных периодов 2015 – 2020 гг. за время проведения опыта

Год	май	июнь	июль	август	сентябрь	В среднем за вегетацию
2015	2,0	1,0	1,2	1,3	2,1	1,5
2016	0,6	1,0	0,7	2,1	2,6	1,4
2017	2,2	3,5	2,5	0,8	2,5	2,3
2018	1,0	1,0	1,6	1,1	2,4	1,4
2019	0,9	1,1	3,3	2,3	2,9	2,1
2020	4,6	2,0	2,6	1,5	1,6	2,5
Среднее за опыт	1,9	1,6	2,0	1,5	2,3	1,9
Среднемноголетнее	1,3	1,5	1,4	1,7	2,0	1,6

Агроклиматические условия 2017, 2019 и 2020 годов были неблагоприятны для роста и развития растений ввиду повышенного уровня осадков вегетационного периода, что сказалось на эффективности внесенных удобрений.

Наиболее оптимальные параметры ГТК для роста и развития растений наблюдались в 2015, 2016 и 2018 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние различных систем удобрения и известкования на агрохимические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Изменение основных физико-химических параметров дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, под действием изучаемых систем удобрения и известкования, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Изменение физико-химических параметров плодородия в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (0 – 20 см) при действии систем удобрения и известкования за ротацию севооборота

Системы удобрений (фактор В)	Известкование (фактор А)					
	pH _{kcl}		Нг		S	
	ед.		ммоль(экв)/100г			
	До закладки опыта (2015 г.)					
	5,2		3,8		9,4	
	Окончание ротации (2019 г.)					
	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль (без удобрения)	5,1	5,9	2,3	1,7	11,2	13,7
2. Навоз, 50 т/га	5,0	5,8	2,5	1,7	11,5	12,8
3. NPK экв.2 вар. по д.в.	4,9	5,8	2,9	1,9	10,5	11,6
4. Навоз, 25 т/га + ½ NPK. в сумме вар.2 по д.в.	5,0	5,9	2,8	1,7	10,8	12,7
5. Навоз, 50 т/га + NPK в сумме двойн. доза вар. 2 по д.в.	5,0	5,9	2,8	1,8	11,3	13,1
Среднее по фактору А (изв.)	5,0	5,9	2,6	1,8	11,0	12,8
НСР ₀₅ фактора А (извест.)	0,1		0,1		1,5	
НСР ₀₅ фактора В (удобрен.) и взаимодействия АВ	0,1		0,2		2,3	
НСР ₀₅ част. различий	0,2		0,2		3,3	

Примечание: б/и – без известкования, с/и – с известкованием, pH_{kcl} – кислотность солевой вытяжки, Нг – гидролитическая кислотность, S – сумма поглощенных оснований

Применение извести в дозе по 1,0 Нг, улучшило основные физико-химические показатели дерново-подзолистой почвы, по сравнению с первоначальным уровнем. Причем, разница между фонами (с известью и без внесения извести), во всех вариантах опыта в конце ротации была статистически достоверной, по всем изучаемым физико-химическим параметрам.

Применение всех систем удобрения (2 – 5 варианты), способствовало изменению pH_{kcl} в сторону подкисления, как по сравнению с первоначальным уровнем, так и в конце ротации. Наиболее существенным (на 0,2 pH_{kcl}), было снижение кислотности почвы в третьем варианте при внесении физиологически кислых минеральных удобрений.

Сходные закономерности были получены по показателям гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований. Причем,

следует отметить, что в варианте с минеральной системой удобрения, различия в значениях суммы поглощенных оснований между известкованным фоном и фоном без применения CaCO_3 было статистически несущественным. Это говорит о том, что даже действие извести, не вполне может нивелировать большой вынос оснований (в частности кальция), при применении физиологически кислых минеральных удобрений.

Изначально высокое содержание подвижного фосфора в почве участка опыта не способствовало выявлению статистически достоверного влияния известкования и систем удобрений на его изменение (табл. 3).

Таблица 3. Изменение содержания подвижного фосфора (по Кирсанову) и степени подвижности P_2O_5 (по Скофилду) в почве от действия систем удобрения и известкования за ротацию севооборота

Системы удобрений (фактор В)	Известкование (фактор А)			
	$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ HCl}$		$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ CaCl}_2$	
	мг/кг		мг/л	
	До закладки опыта (2015 г.)			
	273		0,64	
	Окончание ротации (2019 г.)			
	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль (без удобрения)	249	272	0,25	0,23
2. Навоз, 50 т/га	244	259	0,25	0,23
3. NPK экв. 2 вар. по д.в.	250	272	0,25	0,24
4. Навоз, 25 т/га + 1/2 NPK, в сумме вар.2 по д.в.	260	273	0,27	0,27
5. Навоз, 50 т/га + NPK, в сумме двойн. доза вар. 2 по д.в.	282	288	0,39	0,33
Среднее по фактору А (изв.)	257	273	0,28	0,26
НСР ₀₅ фактора А (извест.)	$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$		$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$	
НСР ₀₅ фактора В (удобрен.) и взаимодействия АВ	$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$		$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$	
НСР ₀₅ част. различий	$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$		$F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$	

Примечание: $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ HCl}$ – подвижный фосфор, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ CaCl}_2$ – степень подвижности фосфора, б/и – без известкования, с/и – с известкованием

В конце ротации севооборота, разница в содержании фосфора, определяемого в 0,2 н. HCl, между двумя фонами (известкованным и неизвесткованным) была статистически несущественной по всем вариантам опыта. Однако, на известкованном фоне, к окончанию ротации содержание подвижного фосфора в пахотном слое во всех изучаемых вариантах было несколько выше (в среднем по опыту на 6%).

Влияние систем удобрений на содержание подвижного фосфора также не подтвердилось статистически. Впрочем, как на фоне извести, так и без известкования, заметна тенденция увеличения содержания P_2O_5 на 6 – 13% от контрольного варианта (без удобрения) к варианту с органо-минеральной системой удобрения.

Степень подвижности фосфора (в 0,02 н. CaCl₂), незначительно изменялась по вариантам опыта, между двумя фонами (известкованным и без известки). Причем следует особенно отметить, что несмотря на статистически незначимые различия, во всех вариантах систем удобрения известкование не способствовало увеличению степени подвижности фосфора в сравнении с неизвесткованным фоном.

По всей вероятности, это связано с исходно высоким содержанием подвижного фосфора и слабокислой реакцией почвенного раствора.

По результатам исследования, отмечали снижение количества подвижного калия (по Кирсанову), в конце ротации севооборота (табл. 4).

Таблица 4. Изменение содержания подвижного калия (по Кирсанову) и степени подвижности K₂O (по Скофилду) в почве от действия систем удобрения и известкования за ротацию севооборота

Системы удобрений (фактор В)	Известкование (фактор А)			
	K ₂ O _{НСІ}		K ₂ O _{САСІ₂}	
	мг/кг		мг/л	
	До закладки опыта (2015 г.)			
	120		11,2	
	Окончание ротации (2019 г.)			
	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль (без удобрения)	103	86	10,5	11,4
2. Навоз, 50 т/га	117	89	8,8	12,1
3. NPK экв.2 вар. по д.в.	112	93	11,5	14,1
4. Навоз, 25 т/га + ½ NPK, в сумме вар.2 по д.в.	106	105	8,8	15,4
5. Навоз, 50 т/га + NPK в сумме двойн. доза вар. 2 по д.в.	117	106	10,8	15,7
Среднее по фактору А (изв.)	111	96	10,1	13,7
НСР ₀₅ фактора А (извест.)	10		2,9	
НСР ₀₅ фактора В (удобрен.) и взаимодействия АВ	F _{факт.} < F _{теор.}		F _{факт.} < F _{теор.}	
НСР ₀₅ част. различий	F _{факт.} < F _{теор.}		F _{факт.} < F _{теор.}	

Примечание: K₂O_{НСІ} – подвижный калий, K₂O_{САСІ₂} – степень подвижности калия, б/и – без известкования, с/и – с известкованием.

Следует отметить, что на количество подвижного калия, как и на степень его подвижности (по Скофилду), оказало влияние известкование. Так, по фону известки содержание калия в среднем по опыту было на 14 % меньше, чем на неизвесткованном фоне (различие подтвердилось статистически).

Что же касается степени подвижности K₂O, то здесь наблюдали полную противоположность в изменении тенденции. Известкование статистически достоверно увеличило степень подвижности, во всех вариантах опыта, а в среднем по опыту на 3,6 мг/л.

Влияние систем удобрения на подвижность калия, статистически не подтвердилось. Но, по фону извести максимальное увеличение, в сравнении с контрольным вариантом (без удобрения), отмечали при применении 2-й органо-минеральной системы удобрения, – 38 %, а на известкованном, преимущество оставалось за минеральной системой, + 9 %, к варианту без удобрения (контрольному), на аналогичном фоне (без внесения извести).

Разница в содержании $C_{орг.}$ в конце ротации севооборота между двумя фонами кислотности (с известкованием и без него), была статистически незначительной (табл. 5).

Таблица 5. Изменение содержания и запаса $C_{орг.}$ в почве в зависимости от действия систем удобрения и известкования за ротацию севооборота

Системы удобрений (фактор В)	Известкование (фактор А)			
	$C_{орг.}$, %		Запас $C_{орг.}$ т/га	
	До закладки опыта (2015 г.)			
	1,54		45,0	
	Окончание ротации (2019 г.)			
	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль (без удобрения)	1,54	1,45	43,5	41,0
2. Навоз, 50 т/га	1,71	1,52	48,3	42,9
3. NPK экв.2 вар. по д.в.	1,48	1,46	41,6	41,2
4. Навоз, 25 т/га + ½ NPK, в сумме вар.2 по д.в.	1,74	1,58	49,0	44,7
5. Навоз, 50 т/га + NPK, в сумме двойн. доза вар. 2 по д.в.	1,68	1,81	47,4	50,9
Среднее по фактору А (изв.)	1,63	1,56	45,9	44,1
НСР ₀₅ фактора А (извест.)	$F_{факт.} < F_{теор.}$		$F_{факт.} < F_{теор.}$	
НСР ₀₅ фактора В (удобрен.) и взаимодействия АВ	$F_{факт.} < F_{теор.}$		$F_{факт.} < F_{теор.}$	
НСР ₀₅ част. различий	$F_{факт.} < F_{теор.}$		$F_{факт.} < F_{теор.}$	

Примечание: $C_{орг.}$ – углерод органического вещества, б/и – без известкования, с/и – с известкованием, запас $C_{орг.}$ – 0 – 20 см, $d=1,43 \text{ г/см}^3$

Изменение запасов $C_{орг.}$ от системы удобрения или известкования, также не подтвердилось статистически. Отмечали тенденцию снижения запасов $C_{орг.}$ на фоне известкования, в среднем по опыту на 4 %, в относительных единицах, по сравнению с известкованным фоном. В четырех из пяти вариантов, за ротацию севооборота произошло снижение запасов органического углерода в слое 0 – 20 см, исключение составил вариант с органо-минеральной системой в двойной дозе (5 вариант). В этом варианте, напротив, по фону известкования запасы $C_{орг.}$ превышали аналогичный показатель на известкованном фоне на 3,5 т/га на уровне тенденции.

Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность культур севооборота

В целом по севообороту, известкование статистически достоверно увеличивало урожайность всех культур (табл. 6).

Таблица 6. Влияние систем удобрения и известкования на урожайность культур севооборота, в среднем за 2 года, ц/га

Фактор В – системы удобрения	Фактор А – известкование									
	Вико – овсяная смесь (зеленая масса)		Озимая пшеница (зерно)		Ячмень (зерно)		Клевер луговой (зеленая масса, в сумме 2 укоса)		Овес (зерно)	
	ц/га	+/- к КОНТ.	ц/га	+/- к КОНТ.	ц/га	+/- к КОНТ.	ц/га	+/- к КОНТ.	ц/га	+/- к КОНТ.
	pH _{кcl} 5,1 – 5,2 ед. (А ₁ – без известкования)									
1. Контроль	223,4	-	25,5	-	10,4	-	434,1	-	32,3	-
2. Навоз, 50 т/га	284,1	+60,7	34,0	+8,5	12,2	+1,8	488,0	+57,0	35,6	+3,3
3. НРК экв.2 вар. по д.в.	289,8	+66,4	37,4	+11,9	17,0	+6,6	482,6	+48,5	36,2	+3,9
4. Навоз, 25 т/га +½ НРК, в сумме вар.2 по д.в.	313,2	+89,8	44,0	+18,5	16,0	+5,6	498,9	+64,8	41,9	+9,6
5. Навоз, 50 т/га + НРК, двойн. доза вар. 2 по д.в.	381,1	+157,7	48,5	+23,0	21,8	+11,4	554,9	+120,8	42,9	+10,6
Ср. по А ₁	298,3	-	37,9	-	15,5	-	491,7	-	37,8	-
pH _{кcl} 5,8 – 5,9 ед. (А ₂ – с известкованием)										
1. Контроль	237,7	-	29,4	-	13,4	-	453,0	-	34,3	-
2. Навоз, 50 т/га	302,9	+65,2	40,8	+11,4	15,7	+2,3	529,6	+76,6	39,1	+4,8
3. НРК экв.2 вар.	318,0	+80,3	46,7	+17,3	20,0	+6,6	535,9	+82,9	39,2	+4,9
4. Навоз, 25 т/га +½ НРК, в сумме вар. 2 по д.в.	342,1	+104,4	49,6	+20,2	18,9	+5,5	570,9	+117,9	41,5	+7,2
5. Навоз, 50 т/га + НРК, двойн. доза вар. 2 по д.в.	418,8	+181,1	55,6	+26,2	25,4	+12,0	620,2	+167,2	44,3	+10,0
Ср. по А ₂	323,9	-	44,4	-	18,7	-	541,9	-	39,7	
НСР ₀₅ фактора А	13,2		1,6		0,8		21,1		1,0	
НСР ₀₅ фактора В и АВ	20,9		2,5		1,3		33,4		1,6	
НСР ₀₅ част. различий	29,5		3,5		1,9		47,1		2,3	

Примечание: б/и – без известкования, с/и – с известкованием, клевер – первый год последствий минеральных удобрений, овес – второй год последствий минеральных удобрений.

Наибольшее влияние известкование оказало на 3-й год после внесения (культура ячмень), когда разница в урожайности на опыте между фоном извести и фоном без известкования составила 21%. Этот факт подтверждает известное положение, о чувствительности ячменя к изменению реакции почвенной среды. Однако, стоит отметить, что данное положение было сформулировано при известковании кислых и среднекислых почв, в представленной же работе, культура реагировала на известкование и слабокислой почвы.

Наименьшую разницу в урожайности между двумя фонами кислотности в среднем по опыту, отмечали на последней культуре севооборота - овсе. Прибавка урожайности от известкования составила всего 5%, но была статистически достоверной. По всей вероятности, это связано с биологическими особенностями овса, как культуры способной толерантно относиться к кислотности почвы.

Максимальную прибавку урожайности на всех культурах севооборота обеспечила органо-минеральная система удобрения при внесении навоза КРС в дозе 50 т/га + NPK в эквивалентной дозе по д.в. (5 вариант). Причем, максимальный уровень прибавки урожайности (в относительных единицах) от системы удобрения отмечали при возделывании ячменя (+110 % к контролю на неизвесткованном фоне и 90 % на известкованном). Скорее всего, данный факт объясняется увеличением интенсивности микробиологических процессов в почве, а также улучшения питательного режима почвы для возделываемых культур.

Отдельно взятые минеральная и органическая системы удобрения не способствовали в почвенно – климатических условиях Севера Нечерноземья полному раскрытию потенциала урожайности культур. Так, максимальная прибавка к варианту без удобрения (контрольному), в варианте с органической системой удобрения (2 вариант, навоз, 50 т/га), составляла на неизвесткованном фоне 33%, а на фоне известкования 39 % и была отмечена при возделывании озимой пшеницы (первый год действия). А вот минеральная система удобрения (3 вариант, NPK, экв. по д.в.2 вар.), наибольшую прибавку урожайности к контролю на фоне извести обеспечила при возделывании озимой пшеницы (+59%), а на неизвесткованном фоне, при выращивании ячменя (+63%).

Что же касается органо-минеральной системы удобрения, представленной в варианте 4 (навоз, 25 т / га +1/2 NPK, в сумме экв. по д.в. варианту 2), то максимальную прибавку урожайности к варианту без удобрения (контрольному), она обеспечила на второй культуре севооборота – озимой пшенице (+72% на слабокислом фоне и +69 % на фоне близком к нейтральному).

Также стоит отметить факт снижения прибавок урожайности к контрольному варианту от изучаемых систем удобрения в период последствий (клевер и овес).

Для более ясного понимания влияния систем удобрения на урожайность севооборота, все полученные значения урожайности отдельных культур привели к стандартному показателю – зерновым единицам (рис. 1).

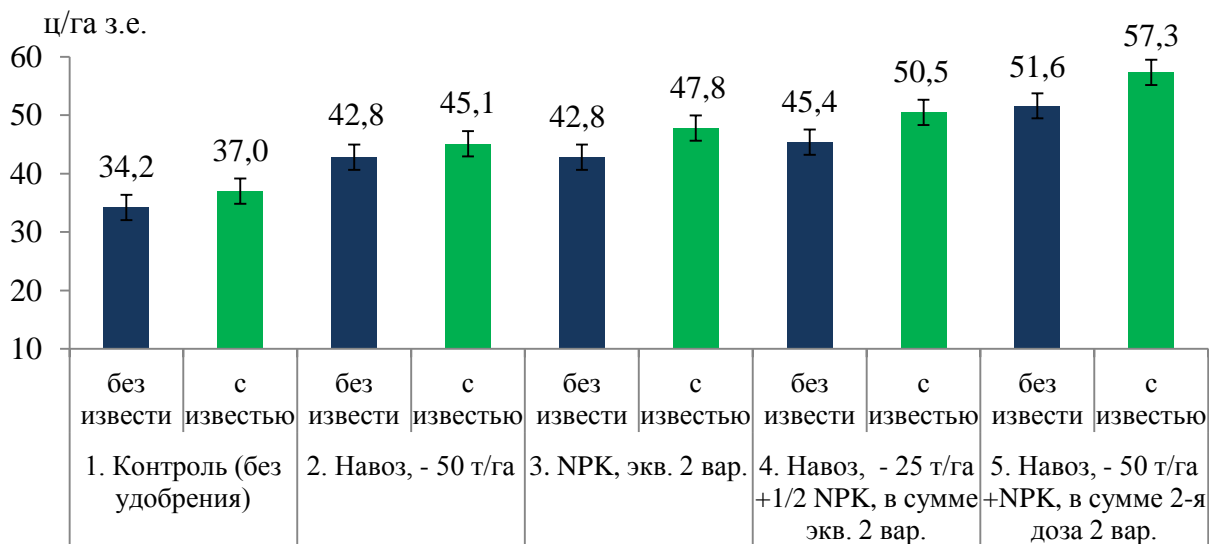


Рисунок 1. Урожайность севооборота в зависимости от известкования и систем удобрения, в среднем за ротацию (ц./га з.е.)

$НСР_{05}$ фактора А (извест.) = 2,1 ц/га з.е., $НСР_{05}$ фактора В (системы удобрения) = 3,3 ц/га з.е. $НСР_{05}$ част. различий = 4,5 ц/га з.е., «усики» – стандартные отклонения

Результаты исследований показывают, что на известкованном фоне урожайность севооборота, в среднем за ротацию, была на 11 % выше, чем на неизвесткованном. Причем данное увеличение статистически достоверно.

Наибольшая эффективность была достигнута при использовании второй органо-минеральной системы удобрения (навоз КРС, 50 т/га + NPK). Прибавка к контрольному варианту (без удобрения), на фоне извести составила 55 %, на неизвесткованном фоне – 51 %.

Отмечали также тот факт, что действие на урожайность севооборота органической и минеральной систем удобрения (2 и 3 вариант), на не известкованном фоне было равнозначным, а на фоне извести преимущество (статистически несущественное) имела минеральная система удобрения.

Применение всех систем удобрения способствовало статистически значимому увеличению урожайности севооборота, причем, как по не известкованному фону, так и по фону известкования. В среднем, по сравнению с контрольным вариантом, увеличение урожайности от систем удобрения за ротацию севооборота составило 33 % на неизвесткованном фоне и 36 % на фоне известкования.

Влияние систем удобрения и известкования на химический состав культур севооборота

В таблице 7 представлено изменение содержания основных элементов питания в товарной части выращиваемых культур севооборота.

Таблица 7. Влияние систем удобрения и известкования на химический состав культур севооборота, в среднем за 2 года

Фактор В – системы удобрения	Элементы питания	Фактор А – известкование									
		Вико-овсяная смесь (зеленая масса)		Озимая пшеница (зерно)		Ячмень с подсевом клевера (зерно)		Клевер луговой (зеленая масса, в среднем за 2 укоса)		Овес (зерно)	
		б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль (без удобрений)	N	2,24	2,09	2,09	2,10	1,84	1,79	2,65	2,91	2,33	2,23
	P ₂ O ₅	0,68	0,70	0,95	0,91	0,93	0,86	0,63	0,73	0,85	0,78
	K ₂ O	2,24	2,06	0,50	0,66	0,70	0,75	2,94	3,02	0,59	0,53
2. Навоз, 50 т / га	N	2,41	2,39	2,11	2,14	1,70	1,78	2,81	2,92	2,21	2,27
	P ₂ O ₅	0,78	0,76	0,93	0,95	0,88	0,87	0,66	0,73	0,75	0,88
	K ₂ O	2,16	2,50	0,52	0,65	0,72	0,73	2,75	2,88	0,55	0,52
3. NPK экв.2 вар. по д.в.	N	2,40	2,49	2,10	2,30	1,90	2,01	2,97	3,12	2,34	2,26
	P ₂ O ₅	0,74	0,73	0,91	0,90	0,89	0,94	0,72	0,74	0,81	0,72
	K ₂ O	2,20	2,03	0,51	0,52	0,78	0,78	3,07	3,16	0,54	0,52
4 Навоз, 25 т / га + ½ NPK, в сумме вар. 2 по д.в.	N	2,52	2,23	2,03	2,20	1,68	1,89	2,94	2,90	2,19	2,23
	P ₂ O ₅	0,72	0,71	0,86	0,84	0,91	0,94	0,70	0,70	0,74	0,90
	K ₂ O	2,16	2,37	0,52	0,50	0,77	0,76	3,00	2,91	0,51	0,53
5. Навоз, 50 т / га + NPK, двойн. доза вар. 2 по д. в.	N	2,56	2,72	2,41	2,51	2,07	2,10	3,03	2,87	2,25	2,24
	P ₂ O ₅	0,83	0,85	0,92	0,92	0,98	0,99	0,71	0,74	0,77	0,79
	K ₂ O	2,72	2,43	0,54	0,50	0,75	0,75	3,25	3,16	0,50	0,50

Примечание: б/и – без известкования, с/и – с известкованием, клевер – первый год последствия минеральных удобрений, овес – второй год последствия минеральных удобрений.

Известкование оказало небольшое влияние на содержание азота в растительных образцах. Однако, на каждой культуре его влияние было различным. В зерне озимой пшеницы, под действием извести увеличилось содержание азота в зерне на 5% (в относительных единицах). Количество азота в зерне ячменя, последней культуре, на которой изучалось действие минеральных удобрений, на фоне известкования выросло на 4%, по сравнению с фоном без внесения извести. В период последствия минеральных удобрений, различие в содержании азота по фонам, закономерно убывало.

Что же касается содержания фосфора и калия, то эти показатели колебались в зависимости от биологических особенностей растений, нежели от уровня кислотности.

Системы удобрения также повлияли на обеспеченность элементами питания товарной части растениеводческой продукции. В целом, по севообороту был отмечен факт (особенно в первые 3 года – годы применения минеральных удобрений), возрастания содержания азота, фосфора и калия при совместном сочетании минерального и органического удобрения в максимальном количестве (пятый вариант).

Однако, в период последействия (последние 2 культуры севооборота), влияние органо-минеральной системы удобрения на содержание азота, фосфора и калия, как в зеленой массе, так и в зерне, стало уменьшаться и практически не выделялось на фоне других вариантов систем удобрения.

Таким образом, химический состав растений весьма существенно реагирует на время действия и последействия, как систем удобрения, так и известкования.

Влияние различных систем удобрения и известкования на показатели качества культур севооборота

Известкование, равно как и системы удобрения, способны оказывать влияние на качество растениеводческой продукции. Данный факт нашел своё отражение в работах Прянишникова Д. Н. (1945), Панникова В. В. (1987), Кук Д. (1977) и ряда других.

Основным показателем качества товарной продукции является «сырой» протеин. Также, важное значение имеет и безопасность произведенной продукции, в первую очередь содержание нитратов.

В таблице 8 представлено изменение содержания сырого протеина и его сбор, в зависимости от известкования и системы удобрения.

Таблица 8. Влияние систем удобрения и известкования на содержание сырого протеина (%), и его сбор (т/га), в среднем за 2 года

Фактор В – системы удобрения	Фактор А	Вико-овсяная смесь		Озимая пшеница*		Ячмень		Клевер луговой		Овес	
		%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га
1. Контроль	б/и	14,0	0,62	12,1	0,26	11,5	0,10	16,5	1,44	14,6	0,44
	с/и	13,1	0,62	12,1	0,31	10,7	0,12	18,1	1,64	13,9	0,45
2. Навоз, 50 т / га	б/и	15,0	0,85	12,0	0,35	10,6	0,11	17,5	1,71	13,8	0,47
	с/и	14,9	0,90	12,8	0,45	11,2	0,15	18,2	1,93	14,2	0,56
3. NPK экв.2 вар.	б/и	15,0	0,87	12,4	0,43	11,9	0,17	18,5	1,79	14,6	0,49
	с/и	15,5	0,99	12,9	0,52	12,6	0,22	19,5	2,09	14,1	0,59
4. Навоз, 25 т / га + ½ NPK	б/и	15,2	0,95	12,0	0,45	10,5	0,14	18,4	1,83	13,7	0,59
	с/и	13,9	0,95	12,8	0,55	11,8	0,19	18,1	2,07	13,9	0,64
5. Навоз, 50 т / га + NPK	б/и	16,0	1,22	13,5	0,56	12,9	0,24	18,9	2,10	14,1	0,63
	с/и	17,0	1,43	14,1	0,67	13,2	0,29	17,9	2,22	14,0	0,68

Примечание: б/и – без известкования, с/и – с известкованием

* – содержание сырого белка в процентах сухого вещества

Поскольку содержание «сырого» протеина напрямую взаимосвязано с содержанием азота в продукции, то изменение данного показателя происходило в соответствии с изменением содержания этого элемента (таблица 7). Известкование наиболее существенно повлияло на изменение данного показателя в период внесения минеральных удобрений (звено севооборота вико-овсяная смесь – озимая пшеница – ячмень), увеличив количество «сырого» протеина на 4 – 5% (в относительных единицах), по сравнению с неизвесткованным фоном.

В период последействия (клевер – овес), различие по показателю практически исчезло, колебалось на уровне 1 – 2% (в относительных единицах).

Среди изучаемых систем удобрения наибольшее влияние на уровень «сырого» протеина оказала вторая органо – минеральная система удобрения (5 вариант). В среднем, по фонам известкования, увеличение показателя по отношению к контрольному варианту (без удобрения) на вико – овсяной смеси составило – 21%, на озимой пшенице – 14%, ячмене – 18%, на клевере луговом – 6%, (всё в относительных единицах), на овсе – равнозначно с вариантом контроль (без удобрения).

Отмечали тот факт, что в период применения минеральных удобрений звено севооборота вико-овсяная смесь – озимая пшеница – ячмень), действие как известкования, так и систем удобрения на количество «сырого» протеина повышалось по сравнению с вариантом без применения удобрений (контрольным). А в период изучения последействия систем удобрения, на клевере и овсе – содержание «сырого» протеина «выравнивалось», по отношению к варианту без удобрения. Данный факт наглядно демонстрирует важность удобрений в процессе увеличения качества продукции растениеводства.

Сбор «сырого» протеина зависит от его содержания и урожайности культуры.

В среднем по севообороту известкование способствовало увеличению сбора «сырого» протеина на 13%, по сравнению с не известкованными вариантами опыта. Причем, наибольшее различие между фонами проявилось на третьей культуре севооборота – ячмене яровом, и составило 28%, а наименьшее – на вико-овсяной смеси – 9 %.

Среди изучаемых систем удобрения, наибольший выход «сырого» протеина с единицы площади зафиксировали при использовании органо-минеральной системы удобрения, представленной в 5 варианте (навоз, 50 т/га + NPK, двойная доза варианта 2). Причем, как по фону известки, так и без известкования. В первую очередь, данный факт связан с более высокой урожайностью культур, полученных в этом варианте (в среднем по фонам кислотности + 53% к контрольному – без удобрения) и содержанием «сырого» протеина в продукции.

Стоит также отметить, что известкование позволило увеличить и содержание клейковины в зерне озимой пшеницы (хлебопекарной культуры), в среднем по опыту на 5%.

Применение второй органо-минеральной системы удобрения (навоз, 50 т/га + NPK), позволило увеличить количество клейковины, по сравнению с контрольным вариантом (без удобрения), в среднем по фонам известкования на 12%, и получить хлебопекарное зерно 2-го класса (Налиухин, Белозёров, 2020).

В целом по опыту, применение систем удобрения способствовало улучшению качества продукции.

Содержание нитратов в продукции – важный параметр безопасности применяемых агроприемов. При использовании систем удобрения, данный показатель приобретает важное значение.

Особенно интересно сравнение органической и минеральной системы удобрения, как «полюсных», по отношению друг к другу (табл. 9).

Таблица 9. Влияние известкования и систем удобрения на содержание нитратов в основной продукции выращиваемых растений

Фактор В – системы удобрения	Вико-овсяная смесь (зеленая масса)		Озимая пшеница (зерно)		Ячмень (зерно)		Клевер луговой (зеленая масса)		Овес (зерно)	
	Фактор А – известкование									
	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль	184	193	95	91	85	61	114	127	64	66
2. Навоз, 50 т / га	225	211	92	96	89	91	121	130	60	60
3. NPK экв.2 вар.	150	200	92	88	96	80	112	182	59	62
4. Навоз, 25 т / га + ½NPK	202	202	91	89	96	80	135	125	59	59
5. Навоз, 50 т / га + NPK	220	379	86	85	96	80	155	134	54	59
ПДК	500		300		300		500		300	

Примечание: б/и – без известкования, с/и – с известкованием

Следует сразу отметить, что применение всех изучаемых систем удобрения не привело к накоплению нитратов в товарной части выращиваемых растений, свыше норм ПДК.

Максимальный уровень накопления нитратов во всех вариантах опыта отмечали в зеленой массе вико-овсяной смеси. Причем, на неизвесткованном фоне, также, как и на известкованном применение органической системы удобрения (2 вариант, навоз, 50 т/га) увеличило количество нитратов в зеленой массе по отношению к минеральной системе (3 вариант, NPK).

Минимальный уровень накопления нитратов в товарной части растения отмечали при возделывании овса, заключительной культуре севооборота. Это говорит о том (косвенно), что влияние непосредственно удобрений на растения снижается, однако, сформированный уровень плодородия, под действием систем удобрения, продолжает оказывать непосредственное влияние на растения.

Влияние систем удобрения и известкования на баланс питательных веществ дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Общеизвестно, что при продолжительном отрицательном балансе – ухудшаются агрохимические показатели плодородия почвы, поскольку отчужденные питательные элементы не возвращаются в почву. В результате этого, может сложиться критически низкий уровень питательных веществ, что приведет к неминусовой деградации почвы и ухудшению экологического состояния окружающей среды.

По условиям опыта, солома зерновых культур и включенные в севооборот бобовые травы должны были компенсировать часть потерь элементов питания, отчужденных с урожаем. Влияние систем удобрения и фона кислотности рассматривалось как средство увеличения возврата питательных веществ в почву с нетоварной продукцией растениеводства, и как следствие, смещение баланса питательных веществ почвы в положительную сторону.

В таблице 10 представлен баланс питательных веществ с учетом возврата части с соломой и азотфиксацией бобовыми культурами.

Таблица 10. Баланс питательных веществ с учетом возврата питательных веществ соломой зерновых и накоплением азота бобовыми культурами (за ротацию севооборота, в среднем по двум полям)

Фактор В (системы удобрения)	Элементы питания	Поступление		Вынос		Баланс,		Возмещение выноса	
		Кг/га		кг/га		кг/га		%	
		Известкование (фактор А)							
		б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и	б/и	с/и
1. Контроль (без удобрения)	N	244,6	234,1	457,2	502,5	- 212,6	- 268,4	53	47
	P ₂ O ₅	52,4	49,4	137,9	155,3	- 85,5	- 105,9	38	32
	K ₂ O	197,4	194,2	389,1	412,6	- 191,7	- 218,4	51	47
2. Навоз, 50 т / га	N	429,1	446,1	558,4	629,5	- 129,3	- 183,4	77	71
	P ₂ O ₅	184,7	184,2	168,0	197,9	+ 16,7	- 13,7	110	93
	K ₂ O	454,2	476,3	430,7	506,7	+ 23,5	- 30,4	105	94
3. NPK, экв. вар.2	N	443,7	471,7	599,4	696,0	- 155,7	- 224,3	74	68
	P ₂ O ₅	181,5	184,8	182,2	202,2	- 0,7	- 17,4	99	91
	K ₂ O	468,4	495,5	469,7	519,7	- 1,3	- 24,2	99	95
4. ½ NPK + навоз, 25 т / га	N	446,6	461,1	630,1	687,9	- 183,5	- 226,8	71	67
	P ₂ O ₅	189,3	189,7	186,7	211,7	+ 2,6	- 21,3	101	90
	K ₂ O	490,8	480,1	483,2	547,1	+ 7,6	- 67,0	102	88
5. NPK + навоз, 50 т / га	N	688,0	687,6	753,8	835,0	- 65,8	- 147,4	91	82
	P ₂ O ₅	313,5	317,3	227,2	258,7	+ 86,3	+ 58,6	138	123
	K ₂ O	789,1	769,8	623,0	654,8	+ 166,1	+ 115,0	127	118
В среднем по опыту	N	450,4	460,1	599,8	670,2	- 172,6	- 210,1	75	69
	P ₂ O ₅	184,3	185,1	180,4	205,2	+ 3,9	- 20,1	102	90
	K ₂ O	480,0	483,2	479,1	528,2	+ 0,9	- 45,0	100	91

Примечание: поступление с минеральными и органическим удобрениями, возврат с соломой и биологическим азотом, вынос основной продукцией, зерном и зеленой массой, б/и – без известкования, с/и – с известкованием

В среднем, по опыту, на известкованном фоне увеличение поступления элементов питания было вполне сопоставимым с аналогичным показателем на неизвесткованном фоне. Тогда как, вынос азота увеличился на 12 %, фосфора на 14 %, калия на 10 %, на известкованном фоне по сравнению с аналогичным показателем на фоне без применения извести.

По степени влияния систем удобрения на баланс питательных веществ, выделялась органо-минеральная система, в которой применялось однократное внесение навоза в дозе 50 т/га, в сочетании с минеральными удобрениями, внесенными в эквивалентной дозе по действующему веществу за 3 года (5 вариант). Баланс фосфора и калия в данном варианте сложился положительный, причем, как по фону известкования, так и без применения извести.

В целом, по севообороту только в двух вариантах отмечали отрицательный баланс всех элементов питания, на обоих фонах кислотности (с известкованием и без известкования): контрольном (без удобрения, 1 вариант), и с минеральной системой удобрения (3 вариант, НРК, экв. дозе д.в. внесенного с 50 т/га навоза КРС).

В процессе интерпретации полученных результатов полевого опыта, нами была предпринята попытка оценки влияния баланса питательных веществ на изменение содержания элементов питания в почве.

Наиболее существенную взаимосвязь обнаружили между изменением подвижного калия в почве (по Кирсанову) и его балансом.

На рисунке 2 представлена в графическом варианте корреляция между изменением содержанием в почве калия, определяемого в вытяжке 0,2 н. КСL (по Кирсанову) и его балансом.

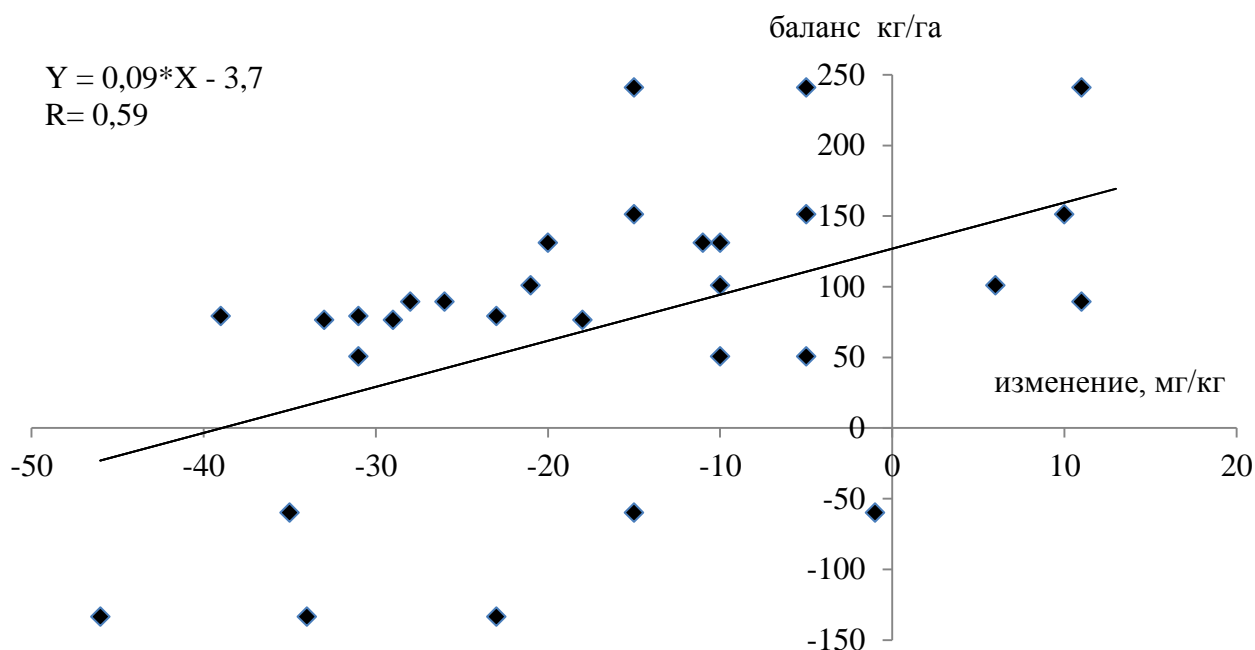


Рисунок 2. Корреляция между содержанием в почве подвижного калия (по Кирсанову) и его балансом. Y – изменение содержания элемента, X – баланс элемента питания, n – 30

Коэффициент прямолинейной корреляции между показателями равен 0,51, что позволяет говорить о том, что существует умеренной силы связь между балансом калия в почве и его изменением, определяемым по методу Кирсанова А. Т.

При такой связи можно, с достаточно условной степенью допущения, делать прогноз изменения количества подвижного калия в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Например, для повышения содержания элемента в почве на 10 мг / кг, баланс элемента должен составлять +152 кг / га, а уменьшение содержания на аналогичную величину, появляется при балансе – 70 кг / га.

Экономическая эффективность систем удобрения и известкования

Результаты расчета эффективности известкования слабокислой почвы, как экономические (руб. / руб.), так и агрономические (ц з. е. / т), подтверждают известные данные о том, что само по себе применение известкового материала не способствует существенному увеличению окупаемости, а эффективность возрастает при совместном применении мелиоранта и систем удобрения (рис. 3).

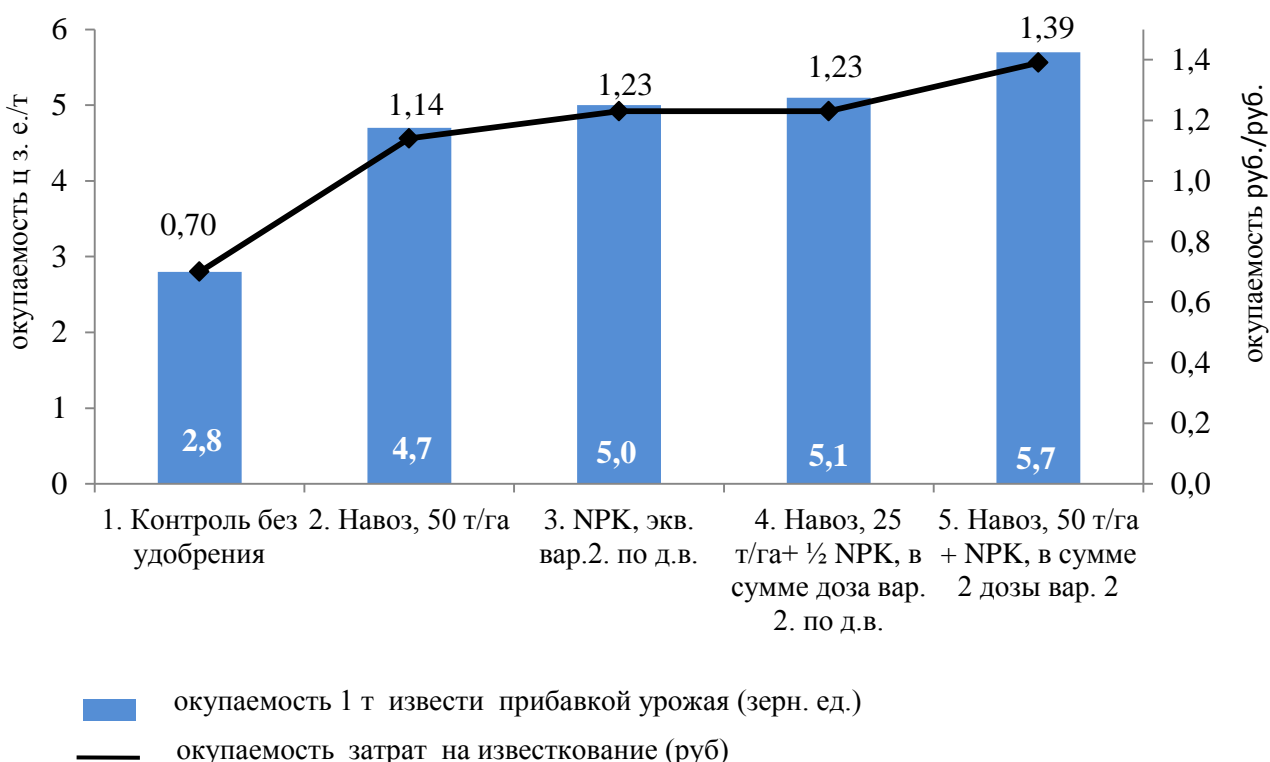


Рисунок 3. Экономическая эффективность известкования в зависимости от систем удобрения

Так, в нашем опыте окупаемость 1 тонны извести прибавкой урожая и единицей прибыли была наименьшей в варианте без внесения удобрений (контроль, 1 вариант). При внесении 50 т/га навоза однократно (2 вариант, органическая система удобрения), окупаемость в з. е. возросла на 68 %, а в рублях на 63 % (за период ротации севооборота в 5 лет). Использование минеральной системы (NPK, экв. вар. 2 по д. в., 3 вариант), при внесении в течение трех лет и двух лет последействия, увеличило уровень окупаемости тонны извести единицей продукции по отношению к контролю на 78 %, а экономический эффект вырос на 76 %. Практически одинаковые результаты были получены и в варианте с 1-й органо-минеральной системой удобрения (4 вариант).

Максимальный эффект от известкования, как агрономический (окупаемость тонны извести единицей продукции), так и экономический (окупаемость затрат на известкование) был получен при применении второй органо – минеральной системы удобрения, представленной в 5 варианте (навоз, 50 т / га + NPK, в сумме двойная доза вар. 2 по д. в.).

Таким образом, применение только одного приема известкования недостаточно для получения максимального эффекта окупаемости, необходимо совмещение с системами удобрения.

Результаты расчета окупаемости систем удобрения, в опыте представлены на рисунке 4.

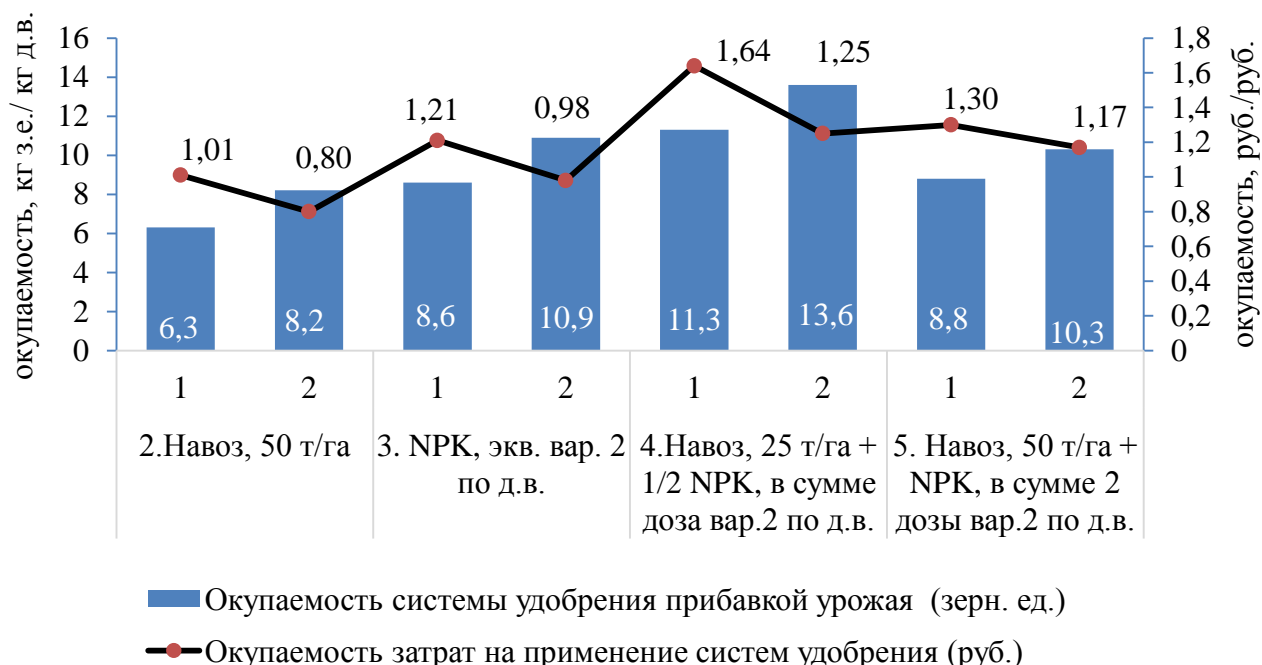


Рисунок 4. Экономическая эффективность применения удобрений в севообороте в зависимости от известкования
1 – без известкования, 2 – с известкованием

Окупаемость систем удобрения прибавкой урожая на фоне извести возрасла в среднем по вариантам на 24 % или 2,1 з. е. / кг д. в. по сравнению с известкованным фоном. Тогда как показатель окупаемости затрат прибавкой урожая на применение удобрений, на аналогичном фоне, в среднем по опыту был меньше на 23 % ниже фона известкованного.

Данные результаты позволяют зафиксировать следующее положение: не всегда увеличение прибавки урожайности в результате применения систем удобрения ведет к пропорциональному увеличению экономической окупаемости.

Максимальную окупаемость системы удобрения прибавкой урожайности зафиксировали в варианте 4, на известкованном фоне (навоз, 25 т / га + 1/2 NPK, в сумме экв. вар. 2 по д. в.). При применении этой же системы удобрения окупаемость затрат была самая высокая среди всех систем удобрения, правда, на известкованном фоне.

Стоит отметить и следующий факт: максимальная прибавка урожайности севооборота в опыте, как по фону извести, так и без известкования, была получена при применении второй органо – минеральной системы удобрения (навоз 50 т / га + NPK, в сумме двойная доза вар. 2 по д.в.) (см. рисунок 1), однако, это не привело к пропорциональному увеличению уровня окупаемости, как единицей продукции, так и выручкой от прибавки урожайности. И тот и другой показатель в данном варианте находились на уровне, полученном при применении только минеральной системы удобрения (3 вариант, NPK, в дозе по д. в. равной второму варианту).

Следовательно, внося высокие дозы органических удобрений в сочетании с минеральными, получаем высокую урожайность, однако снижается уровень её окупаемости, что в конечном итоге приводит к тому, что применение данной системы удобрения становится экономически невыгодным для предприятия.

ВЫВОДЫ

1. Известкование дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы по 1,0 Нг способствовало снижению кислотности почвы к концу ротации пятипольного севооборота на 0,9 ед. (с pH_{KCl} 5,0 – 5,1 до 5,8 – 5,9), уменьшению гидролитической кислотности на 2,0 ммоль (экв) / 100 г. и повышению суммы поглощенных оснований на 3,4 ммоль (экв) / 100 г почвы. Это привело возрастанию степени насыщенности основаниями с 71 % до 88 %. Применение минеральных удобрений способствовало подкислению почвы на 0,2 ед. pH , что, по всей видимости, обусловлено их физиологической кислотностью.

2. Статистически значимых различий в изменении содержания подвижного фосфора (по Кирсанову) и степени подвижности фосфатов (по Скофилду), от действия систем удобрения и известкования в опыте не зафиксировано, что по всей вероятности связано с изначально высоким содержанием P_2O_5 в почве (273 мг / кг) и возмещением выноса на 90 – 138%.

3. На известкованном фоне содержание подвижного калия (по Кирсанову) уменьшилось на 13 % по сравнению с неизвесткованным фоном, впрочем, оставаясь в средней группе по обеспеченности элементом. Влияние систем удобрения на изменение содержания подвижного калия и степени его подвижности, статистически не подтвердилось, что обусловлено возмещением выноса K_2O за счёт удобрений и соломы зерновых культур на 88 – 127%.

4. Содержание почвенного органического углерода ($C_{орг.}$) в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при применении удобрений и известковании в конце ротации существенно не изменилось; запасы $C_{орг.}$ составляли 41 – 49 т / га.

5. В условиях Севера Нечерноземной зоны России, внесение 50 т / га навоза КРС в занятом пару совместно с минеральными удобрениями в эквивалентной по действующему веществу дозе, позволяет получать среднегодовую продуктивность зернотравяного севооборота 51,6 ц / га и 57,3 ц / га зерновых единиц без известкования и при внесении $CaCO_3$ соответственно. При этом установлено достоверное увеличение продуктивности севооборота при известковании по 1,0 Нг на 11 % по сравнению с неизвесткованным фоном. Органическая система удобрения, по продуктивности севооборота – 42,8 – 47,8 ц з. е. / га практически не уступала минеральной.

6. Минеральная и органо-минеральные системы удобрения имели преимущество в повышении качества растениеводческой продукции, перед органической системой только в период действия удобрений. В период последействия, влияние всех изучаемых систем удобрения на показатели качества культур севооборота были практически одинаковые.

7. Положительный баланс фосфора и калия в севообороте на обоих фонах кислотности, достигался только с учетом возврата питательных веществ соломой зерновых, в варианте с органо-минеральной системой удобрения в дозе навоз 50 т / га + НРК. Возмещение выноса фосфора составило 138 % на неизвесткованном фоне и 123 % на фоне известкования, а калия 127% и 118% на аналогичных фонах кислотности.

8. Выявлено, что окупаемость известняковой муки при известковании слабокислой почвы возрастает с 2,8 ц з. е. / 1 т $CaCO_3$ без применения удобрений до 5,7 ц з. е. / 1 т $CaCO_3$ при совместном внесении навоза в дозе 50 т / га и НРК. При сравнении систем удобрения, наибольшая окупаемость – 11,3 – 13,6 кг/кг наблюдается при внесении половинных доз навоза и НРК.

9. Известкование было экономически выгодно только на фоне применения удобрений. Максимальный уровень рентабельности известкования – 39 % был в варианте с органо-минеральной системой удобрения. При использовании минеральной и органо-минеральной систем удобрения, с внесением навоза и NPK в половинных дозах, рентабельность была одинаковой и составила 23 %. Наибольший чистый доход – 12,2 – 19,7 тыс. руб. / га был получен при органо-минеральных системах удобрения.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для сельскохозяйственных предприятий, расположенных на Севере Нечерноземья, возделываемых зерновые культуры, однолетние и многолетние бобово-злаковые травы на дерново-подзолистых слабокислых почвах, с высоким содержанием подвижного фосфора и средним – калия (по Кирсанову) можно рекомендовать:

– однократное внесение 50 т/га навоза КРС, в сочетании со среднегодовым (в течение 5 лет), применением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{20}K_{45}$, что позволит получать продуктивность зернотравяного севооборота на уровне 50 – 55 ц/га з.е. в год, или порядка 28 – 32 ц/га зерна, 290-300 ц/га зеленой массы бобово-злаковых однолетних и 480 – 500 ц/га зеленой массы клевера (в сумме за 2 укоса);

– высокая урожайность клевера лугового и бобово-злаковых однолетних трав обеспечивается созданием хорошего фосфорно-калийного фона, когда под однолетние вносится органическое удобрение, а под клевер – фосфорно-калийное;

– возделывание клевера лугового и однолетних бобово-злаковых травосмесей на высоком агрохимическом фоне, способствует накоплению биологически связанного азота, что позволяет возделывать последующую зерновую культуру (овёс) без внесения азотных удобрений.

Применение предложенной органо-минеральной системы удобрения в сочетании с известкованием кислых почв в зернотравяном севообороте будет способствовать увеличению окупаемости удобрений прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур, что приведет к повышению рентабельности применения удобрений и, как следствие, повысит доходность отрасли растениеводства в неблагоприятных климатических условиях Северного Нечерноземья.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Налиухин А. Н., Власова О. А., **Ерегин А. В.**, Белозеров Д. А., Рыжакова А. А., Рябков А. В. Продуктивность полевого севооборота при различных системах удобрения и известкования // Плодородие. – 2020. – № 4. – С. 30 – 34. DOI: 10.25680/S19948603.2020.115.09

2. Налиухин А. Н., Мерзлая Г. Е., Максимова А. С., Силуянова О. В., Белозеров Д. А., **Ерегин А. В.** Эффективность органических и минеральных удобрений при известковании дерново – подзолистой почвы // Плодородие. – 2018. – № 2. – С. 42 – 45.

3. Налиухин А. Н., Белозеров Д. А., **Ерегин А. В.** Изменение агрохимических показателей дерново – среднеподзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивности культур севооборота при применении различных систем удобрения // Земледелие. – 2018. – № 8. – С. 3 – 7. DOI: 10.24411/0044 – 3913 – 2018 – 10801

В других изданиях

4. **Ерегин А. В.**, Буслаев В. А., Огаркова Ю. С. Влияние органоминеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции // Оптимальное питание растений и восстановление плодородия почв в условиях ведения традиционной и органической систем земледелия / Материалы 53-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов – агрохимиков и экологов, посвященной 115 – летию со дня рождения профессора А. В. Петербургского. Москва: ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2019. – С. 73 – 77.

5. **Ерегин А. В.**, Рябков А. В., Данилова В. В. Изменение агрохимических показателей дерново – подзолистой почвы и продуктивности звена севооборота при применении удобрений // Молодые исследователи – развитию молочнохозяйственной отрасли / Материалы II Всероссийской с международным участием научно – практической конференции. Вологда – Молочное: ВГМХА им. Н. В. Верещагина, 2018. – С. 18 – 23.

6. **Ерегин А. В.** Влияние систем удобрения на продуктивность и качество зерна ярового ячменя при возделывании в Нечерноземной зоне России // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплекса – регионам / Материалы III Международной молодежной научно – практической конференции. Вологда – Молочное: ВГМХА им. Н. В. Верещагина, 2018. – С. 164 – 169.