МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АГРОХИМИИ ИМЕНИ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

МАТЕРИАЛЫ
Международной научной конференции, посвященной *90-летию* ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и *80-летию* Географической сети опытов с удобрениями

(1-2 декабря 2021 г.)

Под редакцией
С.И. Шкуркина

Москва ВНИИА 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АГРОХИМИИ ИМЕНИ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

МАТЕРИАЛЫ
Международной научной конференции, посвященной *90-летию* ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и *80-летию* Географической сети опытов с удобрениями

(1-2 декабря 2021 г.)

Под редакцией
С.И. Шкуркина

Москва ВНИИА 2022

УДК 631.8
ББК 40.4

Составители:
О.В. Рухович, д.б.н., М.В. Беличенко, к.б.н.,
Н.В. Бражникова

Материалы Международной научной конференции, посвященной 90-летию ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями / *Под ред. С.И. Шкуркина.* – М.: ВНИИагрохимии, 2022. – 256 с.

ISBN 978-5-9238-0269-6
DOI 10.25680/VNIIA.2019.44.83.106

В сборнике опубликованы материалы докладов участников Геосети, ученых, работающих в научных учреждениях сельскохозяйственного направления. Представленные результаты охватывают большое количество актуальных проблем агрохимической науки и являются основой для решения важнейших вопросов земледелия.

Тезисы докладов представлены в авторской редакции.

УДК 631.8
ББК 40.4

ISBN 978-5-9238-0269-6
DOI 10.25680/VNIIA.2019.44.83.106

© ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 2022

УДК 631.8.022.3

ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ В РЕЖИМЕ OFF-LINE

Н.В. Абрамов, д.с.-х.н., Д.В. Чикишев, А.Е. Уфимцев – аспиранты
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, г. Тюмень

Аннотация. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учётом содержания элементов питания по элементарным участкам и планируемой урожайности позволяет оптимизировать питание культурных растений. Применение туков в режиме off-line с использованием космических систем даже на черноземе выщелоченном с высоким уровнем плодородия химического порядка снижало пространственную вариабельность нитратного азота в 2,8 раза с 22 до 8%. При средней и повышенной обеспеченности подвижного фосфора дифференцированное внесение удобрений слабо влияло на снижение его пространственной вариабельности только на 9%, но при повышенном и высоком содержании подвижного калия 103-138% снижало его пространственную вариабельность до 15%. Инновационный подход к внесению минеральных удобрений на высокоплодородных почвах способствовал слабому росту урожайности (0,08 т/га), однако на почвах с низким и средним содержания элементов питания прибавка урожайности яровой пшеницы составила 0,28 т/га. Экономически дифференцированного внесения минеральных удобрений подтверждается получением прибыли 18 647 руб./га и рентабельностью производства зерна 71%.

Ключевые слова: дифференцированное внесение, минеральные удобрения, элементарные участки, системы спутниковой навигации, азот, фосфор, калий.

Актуальность. Химизация на современном этапе развития АПК несет ведущую роль в повышении продуктивности агроценозов, этому способствует цифровизация производственных процессов. Точность проведения технологических операций позволяет управлять вариабельностью параметров почвенного плодородия внутри поля – оптимизировать минеральное питание культурных растений. Технологически это достигается путем дифференцированного внесения туков по элементарным участкам с использованием систем спутниковой навигации, с учетом содержания элементов питания в почве, биологических особенностей растений, их планируемой урожайности [1, 2, 3, 4].

В методологическом и техническом аспекте при переходе на цифровое земледелие (Digital Farming) следует учитывать, что агроценоз – это многокомпонентная биологическая система, динамично развивающаяся, быстро изменяющаяся. Регулирование продукционных процессов должно осуществляться по микропериодам органогенеза растений [5-8].

Развитие систем спутниковой навигации дает возможность аграриям дифференцированно вносить минеральные удобрения. Результаты отечественных и зарубежных ученых доказали эффективность внесения туков по элементарным участкам поля в режиме on-line и off-line.

В ранее проведенных исследованиях в условиях Западной Сибири Абрамовым Н.В. и Шерстобитовым С.В. доказана эффективность дифференцированного применения азотных удобрений. Однако применение удобрений с учетом гетерогенности содержания в почве макроэлементов (NO_3, P_2O_5, K_2O) не изучено, нет порогового значения пространственной вариабельности содержания элементов питания, уровня обеспеченности ими культур при котором целесообразно использование дифференцированного внесения NPK.

Поэтому целью наших исследований было: изучение процесса оптимизации минерального питания яровой пшеницы при дифференцированном внесении минеральных удобрений с использовани-

ем спутниковой навигационной системы в условиях Западной Сибири.

Методика проведения исследований. Научно-производственные опыты проводились в 2016-2020 гг. на полях АО ПЗ «Учхоз ГАУ Северного Зауралья» в севообороте: кукуруза – пшеница яровая – пшеница яровая. Учетная площадь делянки 0,5 га. Оптимизация минерального питания яровой пшеницы предусматривала дифференцированное внесение удобрений по элементарным участкам в режиме off-line с учетом планируемой урожайности и содержания нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия в почве.

Варианты опыта:

1. Контроль. Без применения удобрений;

2. Традиционный способ внесения минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га;

3. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га.

Динамика содержания элементов питания в почве изучалась по элементарным участкам каждого варианта в течение производственного цикла выращивания яровой пшеницы: перед посевом, в фазу всходов, кущения и после уборки.

Химические анализы почвы и растений проведены в лабораториях ГАУ Северного Зауралья по общепринятым методикам.

Результаты. Для агроландшафтов Тюменской области характерна высокая пространственная вариабельность по содержанию нитратного азота [9]. Перед закладкой опыта была проведена оцифровка полей с использованием систем спутниковой навигации с привязкой их границ к географической сети координат.

Исследования показали, что почва под опытами – имеет высокий уровень потенциального плодородия. По химическим свойствам она соответствовала характерным признакам выщелоченного чернозема и обладала благоприятными свойствами для роста и развития яровой пшеницы. По кислотности (pH солевой вытяжки) почва опытно-производственных полей была в интервале от слабо-

кислая (pH=5,4) до близкой к нейтральной (pH=5,7). Содержание гумуса по вариантам опыта колебалось от 7,3 до 7,5%, что соответствует высокой степени гумуссированности. Данную разницу в содержании гумуса нельзя считать значимой, так как $НСР_{05}$ по элементарным участкам составляла 0,3-0,6.

Высокий уровень плодородия подтверждается содержанием нитратного азота даже на вариантах без использования минеральных удобрений. В среднем за 3 года за период с момента агрофизической спелости почвы, до всходов яровой пшеницы (22-27 дней) содержание $N\text{-}NO_3$ в почве повышалось на 16,1 мг/кг (от 7,8 до 23,9 мг/кг) (табл. 1).

1. Динамика и вариабельность содержания нитратного азота, подвижных форм фосфора, калия в почве (0-30 см), мг/кг, среднее за 2018-2020 гг.

Вариант опыта	Элемент питания	Содержание, мг/кг Вариабельность, %	Перед посевом	Всходы	Кущение	Уборка
Контроль (без удобрений)	$N\text{-}NO_3$	Содержание	7,8	23,9	15,8	4,3
		Вариабельность	14	14	6	18
	P_2O_5	Содержание	128	110	113	125
		Вариабельность	32	38	38	31
	K_2O	Содержание	103	108	112	105
		Вариабельность	24	22	23	17
Традиционный способ внесения на планируемую урожайность 3,0 т/га	$N\text{-}NO_3$	Содержание	10,6	39,6	28,9	5,9
		Вариабельность	26	27	29	32
	P_2O_5	Содержание	166	140	134	144
		Вариабельность	29	24	26	19
	K_2O	Содержание	126	135	122	149
		Вариабельность	24	23	29	28
Дифференцированное внесение на планируемую урожайность 3,0 т/га	$N\text{-}NO_3$	Содержание	7,9	36,3	26,5	4,9
		Вариабельность	22	8	12	23
	P_2O_5	Содержание	139	131	134	132
		Вариабельность	57	47	53	48
	K_2O	Содержание	122	125	117	130
		Вариабельность	33	22	18	26

Отмеченная закономерность объясняется необычно высокой температурой для нашего региона в начальный период роста и развития растений и систематическим внесением органических удобрений – 10 т/га севооборотной площади. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом содержания элементов питания по участкам даже на высокоплодородном чернозёме выщелоченном приводило к снижению вариабельности нитратного азота в 2,8 раза (с 22 до 8%). В этот же период (от посева до появления всходов) при традиционном способе внесения туков со средней нормой по элементарным участкам пространственная пестрота содержания $N\text{-}NO_3$ сохранялась на прежнем уровне 26-27% и увеличивалась к уборке до 32%.

Подвижного фосфора в период вегетации яровой пшеницы имелось в слое 0-30 см чернозёма выщелоченного 110-144 мг/кг, что соответствовало средней и повышенной обеспеченности P_2O_5 культурных растений.

Динамика изменения содержания подвижных форм фосфора в почве была слабее, чем у нитратного азота вследствие более низкой растворимости его минеральных соединений. Тем не менее, пространственные колебания содержания подвижного фосфора по элементарным участкам в течение вегетации яровой пшеницы составляли от 9 до 96 мг/кг почвы. Однако, при среднем и повышенном уровне подвижных форм фосфора дифференцированный способ внесения минеральных удобрений с учётом содержания элементов питания по элементарным участкам слабо влиял на пространственную вариабельность фосфора. После дифференцированного внесения фосфорных удобрений вариабельность к фазе всходов снизилась только на 10%, а к уборке – на 9% относительно допосевного периода с 57% до 47% и 48% соответственно. Аналогичный уровень снижения вариабельности (10%) наблюдался от предпосевного периода к уборке с 29 до 19% и при традиционном способе внесения фосфорных удобрений – усреднённой нормой по элементарным участкам.

Содержание подвижного калия в слое почвы 0-30 см в среднем за годы исследований на протяжении всего вегетационного периода яровой пшеницы находилось на уровне повышенной и высокой обеспеченности: 103-149 мг/кг. Стабильность его содержания в весенне-летний период связана с высоким наличием общего калия в чернозёме выщелоченном, из запасов которого происходит пополнение подвижных форм, потреблением калия яровой пшеницей, а также переносом калия из нижних слоёв.

Установлен высокий уровень пространственной вариабельности содержания подвижного калия по элементарным участкам 22-33%. Внесение калийных удобрений традиционным способом с усреднённой нормой по повторностям увеличивало неоднородность K_2O_5 по элементарным участкам на 4% (с 24 до 28%) при высоком его содержании 122-149 мг/кг.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений в режиме off-line с использованием систем спутниковой навигации при повышенном и высоком содержании подвижного калия 103-121 мг/кг и 113-138 мг/кг позволило снизить его пространственную вариабельность на 7-15%.

Применение минеральных удобрений в среднем за 3 года исследований повышало урожайность яровой пшеницы на 0,55-0,63 т/га (табл.2).

Дифференцированное внесение минеральных удобрений по сравнению с традиционном способом внесения увеличивало урожайность яровой пшеницы на 0,08-0,2 т/га. Статистический анализ с использование критерия Стьюдента ($НСР_{05}$) показал, что полученная урожайность на вариантах с традиционным и дифференцированным внесением удобрений различается несущественно. Однако, применение метода линейной экстрополяции показало отражение постоянного ежегодного абсолютного прироста, т.е. арифметическую прогрессию. Вместе с этим оптимизация минерального питания при дифференцированном внесении минеральных удобрений позволила увеличить долю сырой клейковины в зерне на 5 % отно-

сительно контрольного варианта, стекловидности – на 2%, массу 1000 зёрен – на 1,5 г. При традиционном внесении туков из-за большой пестроты элементов питания по элементарным участкам увеличение этих показателей в зерне относительно контроля статистически не доказано.

2. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы (среднее за 2018-2020 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Белок, %	Сырая клейковина, %	Натура, г/л	Стекловидность, %	Масса 1000 зёрен, г
Контроль (без удобрений)	37,1	12,89	28	784	85	34,8
Традиционный способ внесения на планируемую урожайность 3,0 т/га	4,26	13,56	31	768	84	35,3
Дифференцированное внесение на планируемую урожайность 3,0 т/га	4,34	14,03	33	763	87	36,3
$НСР_{05}$	0,37	1,25	4,3	12	2	0,9

Параллельно проводимые опыты также на чернозёмных почвах, но с относительно низким уровнем плодородия, при содержании $N\text{-}NO_3$, P_2O_5, K_2O в период вегетации яровой пшеницы от низкого до среднего уровня, в годы с аналогичными погодными условиями и также высокой степенью их пространственной вариабельности показал целесообразность использования дифференцированного внесения минеральных удобрений (табл.3).

Установленная закономерность роста продуктивности агроценозов при дифференцированном внесении минеральных удобрений экономически обоснована. Даже на чернозёме выщелоченном с высоким уровнем естественного и эффективного плодородия дифференцированное внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0 т/га позволило получить наи-

больший доход после реализации продукции 45093 руб./га и прибыли – 18647 руб./га при рентабельности производства зерна 71%.

3. Урожайность яровой пшеницы с традиционным и дифференцированным внесением минеральных удобрений на чернозёме выщелоченном, т/га (Шерстобитов С.В., Абрамов Н.В, Чикишев Д.В.)

Вариант опыта	2016 г.	2017 г.	Среднее
Традиционный способ внесения на планируемую урожайность 3 т/га	3,00	3,38	3,19
Дифференцированное внесение на планируемую урожайность 3 т/га	3,24	3,69	3,47
Дифференцированное внесение на планируемую урожайность 4 т/га	3,28	3,80	3,54
$НСР_{05}$	0,23	0,26	0,25

Заключение

1. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учётом содержания нитратного азота по элементарным участкам и планируемой урожайности 3 т/га обеспечивало более выровненное содержание $N\text{-}NO_3$ по повторностям. Пространственные колебания нитратного азота к фазе всходов и кущения снижались до 6,2-4,2 мг/кг относительного допосевного периода вариабельность снизилась в 2,8 раза – с 22 до 8% при очень высокой обеспеченности $N\text{-}NO_3$ 23,3-49,9 мг/кг.

2. При средней и повышенной обеспеченности подвижного фосфора 110-144 мг/кг почвы дифференцированное внесение туков слабо влияло на снижение пространственной вариабельности – на 10% к фазе всходов и на 9% к уборке относительно допосевного периода.

3. Дифференцированное внесение минеральных удобрений на участках с повышенным и высоким содержанием K_2O 103-138 мг/кг снижало его пространственную вариабельность на 7-15%.

4. На чернозёме выщелоченном с высоким уровнем плодородия дифференцированное внесение минеральных удобрений обеспечивало ежегодную прибавку урожайности яровой пшеницы (в среднем за 3 года на 0,08 т/га относительно традиционного внесения),

которая имела тенденциозный характер, но с получением зерна более высокого качества.

5. Дифференцированное внесение удобрений на чернозёме выщелоченном с низким и средним содержанием $N\text{-}NO_3$, P_2O_5, K_2O увеличивало урожай яровой пшеницы на 0,28 т/га.

6. Экономическая целесообразность применения дифференцированного внесения минеральных удобрений подтверждается прибылью 18,647 руб./га и рентабельностью производства зерна 71%.

Литература

1. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах: монография / Г.П. Гамзиков // Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2013. – 790 с.

2. Сычев В.Г. Роботизация агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур / В.Г. Сычев и др. // Материалы Всероссийского совещания научных учреждений – участников Географической сети опытов с удобрениями «75 лет Географической сети опытов с удобрениями». ВННИА имени Д.Н. Прянишникова, Москва, 2016. – С 257-266.

3. Рухович О.В. Оценка урожайности сельскохозяйственных культур в современном земледелии на основе ГИС-технологии / Рухович О.В., Романенков В.А., Беличенко М.В. // в сборнике Материалы Всероссийского совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями "75 лет Географической сети опытов с удобрениями", издательство ВНИИА (М.), с. 227-232.

4. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации // Агрохимия. 2018. № 9. С. 40–49.

5. Михайленко И.М. / И.М. Михайленко И.М. // Управление системами точного земледелия. СПб: СПбГУ, 2005. 233 с.

6. Кобец Н.И. Применение данных дистанционного зондирования Земли в системах точного земледелия / Н.И. Кобец // М. – 2006.

7. Якушев В.П. Информационное обеспечение точного земледелия / В.П. Якушев, В.В. Якушев // СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007.

8. Шпаар, Д. Дифференцированное управление посевами с учетом гетерогенности полей в рамках PRECISION AGRICULTURE контролем / Д. Шпаар, П. Лайтхольд, А. Файфер // Сб. науч. трудов. «Агротехноло-

гии XXI века». – М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – С. 6-8.

9. Абрамов, Н.В. Земледелие с использованием космических систем / Н.В. Абрамов, С.А. Семизоров, С.В. Шерстобитов // Земледелие. – 2015. – № 6. – С. 13-17.

OPTIMIZATION OF MINERAL NUTRITION OF SPRING WHEAT WITH DIFFERENTIATED APPLICATION OF FERTILIZERS IN OFF-LINE MODE

Abramov N.V., Chikishev D.V., Ufimtsev A.E.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Northern Trans-Urals
625003, Tyumen region, Tyumen, st. Republic, 7

Annotation. Differentiated application of mineral fertilizers, taking into account the content of nutrients in elementary plots and the planned yield, makes it possible to optimize the nutrition of cultivated plants. The use of fertilizers in the off-line mode using space systems, even on leached chernozem with a high level of chemical fertility, reduced the spatial variability of nitrate nitrogen by 2.8 times from 22 to 8%. With an average and increased availability of soils with mobile phosphorus, differentiated fertilization had little effect on the decrease in its spatial variability, reducing it only by 9%, but with an increased and high content of mobile potassium of 103-138%, the decrease in spatial variability reached 15%. An innovative approach to the application of mineral fertilizers on highly fertile soils contributed to a weak increase in yield (0.08 t/ha), however, on soils with low and medium nutrient content the increase in spring wheat yield was 0.28 t/ha. The economically differentiated application of mineral fertilizers is confirmed by a profit of 18647 rubles/ha and a profitability of grain production of 71%.

Keywords. Differential application, mineral fertilizers, elementary plots, satellite navigation systems, nitrogen, phosphorus, potassium.

УДК: 633.2:631.582.558.5.95.

ПЛОДОРОДИЯ СЕРОЗЁМОВ КАЗАХСТАНСКОЙ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ХЛОПЧАТНИКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА БЕССМЕННОМ ПОСЕВЕ И В СЕВООБОРОТЕ

М.Ж. Аширбеков, д. с.-х. н.
НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева»
150000, Северо-Казахстанская область, г. Петропавловск, улица Пушкина, 86

Аннотация. В статье приводятся данные влияние длительного применение минеральных и органических удобрений на бессменном посеве (монокультура) хлопчатника и в системе севооборота на изменение содержания в почве органических веществ – гумуса и других элементов питания, а также на урожай хлопка-сырца.

Ключевые слова: Махтаарал, урожай, хлопок, хлопковый севооборот, плодородие почвы.

Введение

В хлопкосеющих районах Средней Азии и юга Казахстана в условиях мало гумусных почв применение минеральных и органических удобрений в хлопководстве привело к значительному увеличению урожайности культур. Этот факт дал основание некоторым работникам сельского хозяйства принижать, а порой и игнорировать роль гумуса в плодородии почв, что отразилось на системах земледелия, в которых мероприятиям по сохранению и увеличению почвенного органического вещества не придавалось должного значения. По вопросу о роли севооборотов и их влиянию в целом на плодородие почвы и урожайности сельскохозяйственных культур имеется многочисленная специальная литература. В условиях Голодной степи этим вопросам занимались многие учёные Г.Г. Бабикова (1969), [1], Ж.Я. Батькаев, А.Б. Мустафаев, И. Умбетаев (1993), [2] и И. Умбетаев, Ж.Я. Батькаев (2000), [3] и другие. В этих

и во многих других работах утверждалось о том, что основой повышения плодородия орошаемых почв являются хлопково-люцерновые севообороты.

Важные значения в многолетнем опыте имеют изучения изменений агрохимических свойств почвы и определения продуктивности хлопчатника под влиянием длительного применения удобрений на бессменном посеве (монокультура) и в севообороте. Дать количественную оценку поступлению питательных элементов в почву из минеральных и органических удобрений, также с осадками, поливной водой, с семенами, прикорневыми остатками и за счёт фиксации (не симбиотического) биологического азота. При учёте поступления питательных веществ учитывается и расход их на создание урожая, потери через вымывание, на улетучивание азота при денитрификации и т.д.

Целью исследований данной работы является определить влияние длительного применение минеральных и периодического применение органических удобрений на повышения плодородия почвы и урожайности хлопка-сырца на серозёмах юга Казахстана.

Решали следующие **задачи исследования**:

1) Влияние длительного применения удобрений при бессменном возделываний хлопчатника и в севообороте на содержание органического вещества – гумуса в почве.

2) Возделывание хлопчатника на бессменном посеве и в севообороте на содержание в почве гумуса, азота, фосфора и калия.

3) Влияние применение удобрений и возделывание хлопчатника на бессменном посеве и в севообороте на показатели урожайности хлопка-сырца.

Объекты и методы

На многолетнем комплексном опыте, заложенном на светлом серозёме в севообороте и на бессменном посеве хлопчатника в условиях Казахской части Голодной степи (Махтааральский район Южно-Казахстанская (ныне Туркестанская) область), основное внимание уделено изменению плодородия почв. Опыт проводился

каждый год по определению содержания гумуса, азота, фосфора и калия в почве, через каждые 2-3 года содержание питательных элементов в растений. Определение содержания в почве кальция, магния, натрия, серы и микроэлементов проводился один раз за ротацию севооборота. В севооборотном удобряемом варианте навоза вносили 40 т/га под четвёртый год возделывания хлопчатника после распашки люцерны. Сорт хлопчатника С-4727 районированный по всей хлопкосеющей зоне Казахстана и Узбекистана.

На опыте определяли: гумуса по И.В. Тюрина, общего азота по Къелдалью, валового фосфора по Лоренцу, нитратный азот по Гранвальд-Ляжу, усвояемый фосфор по Б.П. Мачигину. Кроме этого полевые и лабораторные исследования провели по таким методикам, как «Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливных хлопковых районах». Ташкент, 1977, [4]. «Методика по изучению севооборотов на орошаемых землях». Москва, ТСХА, 1991, [5]. «Методика полевых опытов с хлопчатником в условиях орошения». Ташкент, 1981, [6].

Опыт проводили на территорий Пахтааральской опытной станций хлопководства (ныне Махтааральская опытная станция хлопководства и бахчеводства) Южно-Казахстанской области (ныне Туркестанская область) в период 1995-2014 гг.

Схема многолетнего опыта:

1. Бессменный посев хлопчатника – без внесения удобрений.

2. Бессменный посев хлопчатника – удобряемая: азот – 250, фосфор – 150, калий – 100 кг/га (контроль).

3. 3:7 (3 года люцерна : 7 лет хлопчатник), без внесения удобрений.

4. 3:7 (3 года люцерна : 7 лет хлопчатник), удобряемая: азот – 200, фосфор – 150, калий – 100 кг/га, навоз – 40 т/га.

5. 2:4:1:3 (2 года люцерна : 4 года хлопчатник : 1 год промежуточные кормовые культуры : 3 года хлопчатник), удобряемая: азот – 200, фосфор – 150, калий – 100 кг/га, навоз – 40 т/га.

6. 3:4:1:2 (3 года люцерна : 4 года хлопчатник : 1 год промежуточные кормовые культуры : 2 года хлопчатник), удобряемая: азот – 200, фосфор – 150, калий – 100 кг/га, навоз – 40 т/га.

В севооборотных вариантах после распашки двух- и трёхлетней люцерны первые два года и после внесение навоза внесение минеральных удобрений дифференцируется.

Результаты и их обсуждения. Агрохимическими анализами установлено, что длительное бессменное выращивание хлопчатника без применения удобрений привело к сильному снижению содержания в почве органического вещества. По данным таблицы 1 более активный распад гумуса происходил впервые десятилетия возделывания хлопчатника. Затем интенсивность минерализации гумуса снизилась, что, по-видимому, связано с введением более совершенной технологии основной обработки почвы. За многолетний период (20 лет) возделывания хлопчатника на светлом серозёме без внесения удобрений содержание органического углерода почвы за период 1995-2014 гг. уменьшилось по сравнению с севооборотным вариантом на 32 %. В отличие от минеральных удобрений на навозном варианте, проходило накопление гумуса, и по сравнению с монокультурой хлопчатника содержание его повысилось на 26 %.

Потери гумуса в подпахотном горизонте меньше, чем в пахотном слое, что обусловлено условиями аэрации.

1. Среднее изменение содержаний гумуса (%) в почве опыта за 1995-2014 гг.

Слой почвы, см	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
0-30	0,64	0,65	0,80	0,86	0,94	1,22
30-50	0,55	0,57	0,70	0,78	0,78	0,96
50-75	0,49	0,50	0,62	0,70	0,72	0,78
75-100	0,42	0,44	0,56	0,62	0,66	0,72
100-125	0,36	0,38	0,46	0,55	0,57	0,62
125-150	0,29	0,30	0,37	0,48	0,50	0,57
Общее содержание гумуса до глубины 0-150 см	2,75	2,84	3,51	3,99	4,17	4,87
В процентах от севооборотной делянки	56,5	58,3	72,1	81,9	85,6	100

При десятилетнем бессменном возделываний хлопчатника без применения удобрений содержание гумуса, как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах органических и минеральных почвы снижается. Весной 2004 году по сравнению с весной 1995 года, то есть с исходным содержанием, количество гумуса снизилось в пахотном слое на 0,159 % или на 19,1 % от первоначального количества. Интенсивность минерализации гумуса в этом варианте в первые 5-6 лет возделывания хлопчатника выше, чем в последующие годы.

При десятилетнем бессменном возделываний хлопчатника с применением минеральных удобрений (азота 250, фосфора 150 и калия 100 кг/га) содержание и запасы гумуса в почве ежегодно снижаются, однако общие потери его меньше, чем в варианте 1, где хлопчатник возделывался бессменно без внесения удобрений.

Во второй ротации севооборота продолжались потери гумуса на удобряемой и неудобряемой монокультуре хлопчатника и происходило его накопление при введении в севооборот люцерны и других кормовых культур.

Причем высокая прибавка гумуса по фону люцерны во второй ротации севооборота доказывает поступательное его накопление при повторном выращиваний люцерны на поле, об этом говорят данные роста количества гумуса за первые 3-4 года после распашки люцерны.

В хлопково-люцерновом севообороте по схеме 3:7 без внесения удобрений, также происходит снижение содержания и запаса гумуса в почве в конце ротации. Однако, потери гумуса в этом варианте значительно меньше, чем при бессменном возделывании хлопчатника.

В расчлененном хлопково-люцерново-зерновом севообороте по схеме 2:4:1:3 с внесением 40 т/га навоза под четвертый год возделывания хлопчатника и включением одного поля с получением двух урожаев кормовых культур в год (ячмень на зерно + кукуруза на силос) также достигнут стабильный запас гумуса в почве в конце ротации севооборота.

В расчлененном хлопково-люцерново-зерновом севообороте по схеме 3:4:1:2 с внесением 40 т/га навоза под 4-й год возделывания хлопчатника и с включением одного поля с получением двух урожаев кормовых культур в год (ячмень на зерно + кукуруза на силос) достигнут устойчиво положительный баланс гумуса в почве.

Таким образом, хлопково-люцерновые и расчленённые схемы севооборотов создают условия для расширенного (от ротации к ротации) воспроизводства почвенного плодородия и бездефицитный баланс гумуса в почве получен в вариантах 3:7 удобряемая, 2:4:1:3, 3:4:1:2, а наиболее стабильный положительный баланс гумуса в почве варианте по схеме 3:4:1:2, где хлопковость составляет 60 %, и он возделывается в расчлененном хлопково-люцерново-зерновом севообороте по схеме 3:4:1:2 с одноразовым внесением навоза из расчета 40 т/га под четвертый год возделывания хлопчатника после распашки трехлетней люцерны.

Положительное действие многолетних трав (люцерны) в севообороте на плодородия почвы объясняется главным образом, обогащением его органическим веществом и улучшением азотного баланса.

Значительный интерес представляют изменения в содержании в почве азота, фосфора и калия за длительный период (1995-2014 гг.) проведения опыта при бессменном посеве хлопчатника и в севообороте. Из результатов опыта исследований таблицы 2 видно, что на бессменном посеве хлопчатника за этот период содержание азота снизилось в пахотном горизонте, по сравнению с севооборотной делянкой, с 0,085 до 0,042 %, или более чем в 2 раза.

Значительно меньшее снижение в почве произошло в содержании фосфора, оно между севооборотными вариантами и монокультурой (бессменный посев) хлопчатника уменьшилось с 0,215 до 0,151%, или в 1,2-1,4 раза. Чередования культур не влияет на содержание фосфора в почве, она зависит от норм внесения фосфорных удобрений. Но в отличие от них, наоборот более высокое повышение азота, по сравнению с контролем, за этот срок произошло

на навозной делянке от 0,042 до 0,085%, или более в 2 раза. Снижения содержания калия в почве по её горизонтам до глубины 100 см в контроле – без удобрений мало изменяется, то есть от 1,60 снизилось до 1,50%. Пониженное истощение калия на навозном варианте подтверждается также балансом содержания его в почве.

2. Среднее содержание азота, фосфора и калия в почве на монокультуре хлопчатника и в севообороте, в % за 1995-2014 гг.

Номера вариантов	Горизонт почвы, см			
	0-30	30-50	50-75	75-100
Азот				
1	0,042	0,040	0,032	0,030
2	0,045	0,046	0,038	0,034
3	0,062	0,061	0,055	0,046
4	0,074	0,072	0,068	0,055
5	0,076	0,070	0,066	0,055
6	0,085	0,078	0,070	0,066
Ф о с ф о р				
1	0,151	0,136	0,124	0,117
2	0,212	0,200	0,182	0,168
3	0,190	0,180	0,166	0,157
4	0,210	0,205	0,189	0,170
5	0,208	0,195	0,178	0,168
6	0,215	0,206	0,188	0,172
К а л и й				
1	1,60	1,60	1,50	1,50
2	1,70	1,65	1,60	1,50
3	1,80	1,70	1,70	1,60
4	1,90	1,86	1,78	1,60
5	1,90	1,85	1,80	1,75
6	1,90	1,88	1,82	1,78

В вариантах опыта, где бессменная возделывания хлопчатника с внесением минеральных удобрений содержания калия в почве на глубине до 100 см снижается от 1,70 до 1,50 %. На севооборотных вариантах с внесением минеральных и органических удобрений содержание калия в пахотном горизонте была 1,90 %, а на глубине до 100 см снижалось до 1,60-1,78 %. Пониженное содержания калия на вариантах с внесением органических удобрений подтверждается также балансом содержания его в почве.

Анализами установлено, что содержания водорастворимого кальция (табл. 3) снижается во всех горизонтах в варианте бессменного посева хлопчатника без внесения удобрений – от 0,052 на горизонте 0-30см и до 0,036 % на горизонте 125-150 см. А на севооборотных вариантах с внесением удобрений содержания кальция тоже уменьшается с углублением горизонта почвы от 0,059 и до 0,039 %.

3. Среднее содержание кальция, магния и натрия в почве на бессменном посеве хлопчатника и в севообороте, в % за 1995-2014 гг.

Номера вариантов	Горизонт почвы, см					
	0-30	30-50	50-75	75-100	100-125	125-150
Кальций						
1	0,052	0,053	0,050	0,045	0,041	0,036
2	0,053	0,053	0,051	0,044	0,041	0,039
3	0,054	0,052	0,050	0,045	0,042	0,038
4	0,055	0,054	0,049	0,046	0,043	0,037
5	0,057	0,056	0,050	0,046	0,044	0,039
6	0,059	0,058	0,052	0,049	0,046	0,039
Магний						
1	0,017	0,015	0,014	0,013	0,012	0,012
2	0,017	0,019	0,018	0,019	0,021	0,020
3	0,019	0,021	0,022	0,024	0,026	0,027
4	0,021	0,022	0,025	0,027	0,028	0,028
5	0,020	0,022	0,026	0,028	0,029	0,030
6	0,022	0,024	0,028	0,030	0,031	0,032
Натрий						
1	0,019	0,020	0,020	0,021	0,020	0,019
2	0,020	0,021	0,019	0,018	0,017	0,017
3	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,015
4	0,019	0,018	0,018	0,017	0,017	0,016
5	0,019	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017
6	0,021	0,020	0,020	0,019	0,018	0,018

Содержания водорастворимого магния с углублением почвенных горизонтов на севооборотных вариантах с внесением минеральных и органических удобрений последовательно повышалось от 0,022 до 0,032 %. А при бессменном возделываний хлопчатника без внесения удобрений содержания магния с углублением гори-

зонта почвы уменьшается от 0,017 до 0,012 %. Более повышенное содержания магния отмечено на вариантах с внесением органических удобрений (навоза).

Содержания натрия в почве мало изменяется с углублением её горизонта. На расчленённом севооборотном варианте при внесений навоза содержания этого элемента составляло от 0,018 до 0,021 %. Чередования культур мало изменяет содержания натрия в почве. Так как между севооборотными вариантами и бессменным посевом (монокультурой) хлопчатника не имеется существенных разниц по содержанию этого элемента.

Главным критерием, определяющим положительное или отрицательное влияние любого агроприема, является показатель урожайности. В условиях орошаемых земель Средней Азии, где ведущей культурой является хлопчатник, каждый разработанный и рекомендуемый прогрессивный прием агротехники должен обеспечить получение с единицы площади высокого и качественного урожая с ранним созреванием и с наименьшей затратой труда.

Поставленная задача имеет особо важное значение применительно к условиям Казахстанской части Голодной степи с подверженными к засолению почвами.

Успешное решение этой важной задачи в условиях Казахстанской части Голодной степи зависит от правильного осуществления целого комплекса агротехнических и мелиоративных мероприятий. Однако, как показали результаты наших исследований, главным из всех факторов, способствующих получению высокого и качественного урожая хлопка с ранним созреванием, является наличие в почве достаточного количества органических веществ, создаваемых многолетними травами в севообороте и с внесением минеральных и органических удобрений.

Особенности роста, развития и формирования плодовых органов в изучаемых вариантах опыта оказали свое влияние на урожай хлопка-сырца и его качество. В опыте более высокий урожай хлопка-сырца получен в среднем за первой ротации севооборота (1995-2004

гг.). А во второй ротации, то есть последующие годы (2005-2014 гг.) урожайность хлопка начало снижаться и достигла 15-20 %.

Данные учета урожая по вариантам опыта приведены в таблице 4, из которых видно, что наибольший урожай хлопка-сырца в среднем за первой ротации получен в варианте 6, где хлопчатник возделывался в расчлененном хлопково-люцерно-зерновом севообороте по схеме 3:4:1:2 с внесением 40 т/га навоза под 4-й год возделывания хлопчатника после распашки люцерны и составил 31,7 ц/га.

4. Урожай хлопка-сырца, ц/га

Номера вариантов	Варианты опыта	Годы проведения опыта			
		Первая ротация (1995-2004 гг.)	Отклонение от удобряемой монокультуры, +/-	Вторая ротация (2005-2014 гг.)	Отклонение от удобряемой монокультуры, +/-
1	Бессменный посев – без удобрений	21,0	-4,6	17,9	-2,5
2	Бессменный посев – удобряемая: азот – 250, фосфор – 150, калий – 100 кг/га (контроль)	25,6	0,0	20,5	0,0
3	3:7 – без удобрений	28,8	+3,2	21,3	+0,8
4	3:7 – удобряемая: азот – 200, фосфор – 150, калий – 100 кг/га, навоз – 40 т/га	30,6	+5,0	24,0	+3,5
5	2:4:1:3 – удобряемая: азот – 200, фосфор – 150, калий – 100 кг/га, навоз – 40 т/га	30,9	+5,3	24,8	+4,3
6	3:4:1:2 – удобряемая: азот – 200, фосфор – 150, калий – 100 кг/га, навоз – 40 т/га	31,7	+6,1	25,6	+5,1

$НСР_{05}$ = ц/га 3,5 2,2

Прибавка урожая хлопка-сырца в этом варианте по сравнению с бессменным посевом хлопчатника с внесением минеральных удобрений (с контролем) составила в среднем 6,1 ц/га. Прибавка урожая хлопка-сырца по сравнению с вариантом 1 (бессменная возделывания

хлопчатника без внесения удобрений) по фону пласта люцерны значительно больше и составило в среднем 9,0 ц/га.

Схема севооборота 2:4:1:3 с внесением 40 т/га навоза уступает по урожайности хлопчатника схеме 3:4:1:2. Одновременно схема севооборота 3:7 с внесением 40 т/га навоза уступает схеме 3:4:1:2 и схеме 2:4:1:3.

Внесение навоза из расчета 40 т/га при схеме севооборота 3:7 повышает урожай хлопка-сырца в среднем на 1,8 ц/га.

Внесение минеральных удобрений при бессменном посеве (монокультура) хлопчатника повышает урожай хлопка-сырца в среднем за 10 лет на 4,6 ц/га. Относительно небольшая прибавка урожая хлопка-сырца от ежегодного применения минеральных удобрений обусловлена тем, что опыт заложен на участке, где ранее в течение многих лет возделывался хлопчатник в хлопково-люцерновом севообороте по схеме 3:5. Это обеспечило создание сравнительно плодородного фона по содержанию питательных элементов в почве. Только этим можно объяснить то, что средний урожай хлопка-сырца за 10 лет бессменного возделывания хлопчатника составил 21,0 ц/га.

Наибольший урожай хлопка-сырца в среднем за второй ротации опять-таки получен в расчленённом хлопково-люцерново-зерновом севообороте по схеме 3:4:1:2 и составил 25,6 ц/га. Прибавка урожая хлопка-сырца в этом варианте по сравнению с бессменным посевом хлопчатника удобряемой (с контролем) составила в среднем 5,1 ц/га. Прибавка урожая хлопка-сырца по сравнению с вариантом бессменного возделывания хлопчатника на естественных плодородиях почвы составила 7,6 ц/га.

Урожай хлопка-сырца на варианте по схеме севооборота 2:4:1:3 в среднем за ротацию получен 24,8 ц/га. Прибавка урожая хлопка-сырца на этом варианте по сравнению с контролем составила 4,3 ц/га, а по сравнению с бессменной культуры хлопчатника без внесения удобрений – 6,8 ц/га.

Урожай хлопка-сырца на классических (старых традиционных) схемах севооборотов по схеме 3:7 на удобряемом и без него в среднем за ротации составил 21,3-24,0 ц/га. Прибавка урожая по сравнению с контролем соответственно – 0,8-3,5 ц/га, а прибавка урожая с бессменным посевом (монокультурой) хлопчатника без внесения удобрений 3,3-6,0 ц/га соответственно.

Внесение минеральных удобрений при бессменном возделываний хлопчатника повышает урожай хлопка-сырца в среднем на 2,5 ц/га по сравнению без внесения его и за 10 лет второй ротации составил в среднем 20,5 ц/га.

Бессменное возделывание хлопчатника на естественных плодородиях серозёмных почв в староорошаемой зоне Казахской части Голодной степи в среднем за 10 лет второй ротации составил 17,9 ц/га, то есть на 3,1 ц/га меньше по сравнению с первой ротации.

Таким образом, как показали результаты наших исследований, главным из всех факторов способствующих получению высокого и качественного урожая хлопка-сырца, является наличие в почве достаточного количества органических веществ, то есть гумуса создаваемых в основном многолетними травами, которые осуществляются при правильном чередований культур хлопкового севооборота и ежегодного внесение дифференцированных норм минеральных и периодического внесения в течение ротации органических (навоз в норме 40 т/га) удобрений.

Выводы

1. За период 20-летний период (1995-2014 гг.) при длительной монокультуре 9 бессменный посев) хлопчатника и в системе севооборота произошли изменения в почве органического вещества – гумуса. За этот период до глубины 1 м повысилось содержание гумуса по сравнению с контролем на удобренных вариантах: в севообороте разделённом (3:4:1:2) и (2:4:1:3) – 2,2 и 1,8 раза, севооборотном (3:7) без внесения удобрений – 1,4 раза, с дозой минеральных удобрений азота – 200, фосфора – 150 , калия – 100 кг/га – 1,2 раза.

2. Исследования, проведенные на севооборотных вариантах, удобренном навозом, азотом в дозе 200 кг/га показали, что повышение гумуса в почве происходило начиная с подпахотного горизонта. В пахотном горизонте при высокой микробиологической активности быстрее минерализуется органическое вещество почвы и корневой системы и содержание гумуса в ней уменьшается. Однако по содержанию гумуса только верхних горизонтов (0-50 см) нельзя охарактеризовать плодородие почвы, так как в условиях староорошаемых серозёмах передвижение органического вещества в больших количествах происходит в более глубокие горизонты.

3. Содержания в почве фосфора и особенно азота при длительной возделываний одной культуры хлопчатника (монокультуры) так же резко снижается. Азот снизился в 2 и более раз, а фосфор в 1,5-1,7 раза.

4. В многолетнем опыте было установлено, что значительное изменения происходит в катионном составе почвы. По данным таблицы 3 отмечены большие нарушения по горизонтам почвы в содержании кальция, магния и натрия по сравнению с контролем. При этом содержания в почве (до 150 см) водорастворимого кальция с углублением в горизонте почвы от 30 до 150 см его содержание снижается на 0,053-0,036%. Повышение его содержания наблюдалось на севооборотном и удобренном азотом вариантах. Содержание водорастворимого магния в этих горизонтах почвы повышается от 0,022 до 0,030%, тогда как на контроле отмечено его уменьшение. А содержания натрия на всех вариантах на этих же горизонтах мало изменяется.

5. Урожай хлопка-сырца снизился на варианте бессменного возделывания хлопчатника на естественных плодородиях, то есть при бессменном возделываний хлопчатника без внесения удобрений до 17,9 ц/га, а на удобренных вариантах монокультуры до 20,5 ц/га. Максимальный урожай хлопка-сырца и лучшее качество хлопкового волокна получен в разделённом схеме севооборота 3:4:1:2 и составила в среднем за первую ротацию 31,7 ц/га и за вто-

рую ротацию 25,6 ц/га. Прибавка по сравнению с удобряемой монокультурой от 5,1 до 6,1 ц/га.

6. Решение вопроса расширенного воспроизводства плодородия почв в зоне хлопкосеяния Южного Казахстана возможно при условии комплексного использования следующих факторов: хлопково-люцернового севооборота и увеличения в нём норм минеральных удобрений под хлопчатник – азота до 250 кг/га, фосфора – 175 кг/га, и калия – 125 кг/га, а также дополнительного внесения под хлопчатник навоза 30-40 т/га на 3-й или 4-й год после распашки люцерны. Внесение навоза в норме 30-40 т/га под четвёртый год возделывания хлопчатника после распашки двух и трехлетней люцерны пополнит запасы гумуса в почве.

Литература

1. Бабикова Г.Г. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность хлопчатника на светлых серозёмах Голодной степи. / Г.Г. Бабикова // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата с.-х. наук. – Ташкент, 1969 – 17 с.

2. Батькаев Ж.Я. Влияние органических удобрений на плодородие почвы и урожайность хлопчатника. / Ж.Я. Батькаев, А.Б. Мустафаев, И.Умбетаев // Рекомендация по применению минеральных и органических удобрений под хлопчатник в Южно-Казахстанской области. Алма-Ата, Кайнар. – 1993 – С. 148-152.

3. Умбетаев И. Система возделывания хлопчатника на юге Республики Казахстан. / И.Умбетаев, Ж.Я.Батькаев – Алматы, Кус жолы, 2000 – 204 с.

4. Методы агрохимических, агрофизических и микробиологических исследований в поливных хлопковых районах. – Ташкент, 1977 – 184 с.

5. Воробьев С.А. Методика по изучению севооборотов на орошаемых землях. / С.А. Воробьев, В.Г. Лощаков (ТСХА), А.С. Болкунов (СоюзНИХИ) – Москва, ТСХА, 1991 – 28 с.

6. Дорман И.А. Методика полевых опытов с хлопчатником в условиях орошения. / Составители: И.А. Дорман, В.П. Кондратюк, Г.Н. Попов, П.Н. Беседин, П.В. Протасов, М.А. Белоусов, Б.М. Исаев, Н.Н. Зеленин. – Ташкент, 1981. 252 с.

FERTILITY OF SERIOZEMS OF THE KAZAKHSTAN HUNGRY STEPPE AND COTTON PRODUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS ON PERMANENT SOWING AND IN CROPPED ROTATION

Ashirbekov Mukhtar Zh.
Manash Kozybaev «Nortn-Kazakhstan University»,
150000, Republik of Kazakhstan, Petropavl city, Pushkin st., 86
E-mail:mukhtar_agro@mail.ru Телефоны: +7-778-835-75-78; +7-771-883-21-31

Annotacion. In the article indicate the data of influence of the application of minerals and in the arganics fertilizer to the prolondey monoculture of the cotton and in the system of crop roation in the change in the change in the ground of the organic matter of gumusa and other elements of nourishment, and also on the grop of cotton rav.

Key words: Makhtaaral, rav, cotton, cotton crop rotations, soil fertility.

УДК 631.95:632.95

ПЕСТИЦИДЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Э. Бейс[1], М. Мантинг[2]

[1]Buijs Agro-Services, Нидерланды, Беннеком, e-mail: jelmerbuijs@gmail.com

[2]Stichting Women Engage for a Common Future (WECF), Нидерланды, e-mail margriet.mantingh@wecf.org

Аннотация. В Нидерландах популяция луговых птиц сокращается с угрожающей скоростью. Нынешняя природоохранная политика до сих пор не смогла остановить эту негативную тенденцию. Определенную роль в этом снижении может сыграть использование пестицидов. В 2018 году нами были отобраны 87 образцов навоза (крупного рогатого скота, лошадей и свиней), почвы и концентрированных кормов на 25 фермах, которые были заинтересованы в этом исследовании. Эти образцы были проанализированы на наличие 664 пестицидов, биоцидов и их метаболитов. В результате исследований было обнаружено 134 различных пестицида, биоцида и их метаболитов, большинство из которых присутствовали в навозе (как жидком, так и твердом). В ходе этого исследования были отобраны также пробы навоза на пастбищах и подсчитано количество жесткокрылых в навозе. Установлена статистически значимая корреляция между потреблением инсектицидов крупным рогатым скотом в день (рассчитанная на основе измеренного содержания в концентрированных кормах и сене) и количеством жесткокрылых. В этой статье обсуждается, что в настоящее время отсутствуют допустимые максимальные пороговыя значения для остатков пестицидов в навозе, сене, соломе, комбикормах и почве, и что следует сделать для улучшения этой ситуации, чтобы защитить энтомофауну и зависящую от нее орнитофауну.

Ключевые слова: пестициды, органические удобрения, концентрированные корма, содержание животных на пастбищах, энтомофауна, орнитофауна.

В исследовании участвовали 24 животноводческие фермы провинции Гелдерланд (15 обычных и 9 органических ферм) и одно предприятие по выращиванию посадочного материала лесных культур. Были исследованы кормовые концентраты, навоз и почва на наличие в них 664 пестицидов и антипаразитарных препаратов. В результате исследований были обнаружены 134 различных пестицида (гербицида, фунгицида, инсектицида, биоцида), при этом не было обнаружено ни одного образца, в котором бы не содержались пестициды. В образцах, полученных с обычных (конвенциональных) ферм в общей сложности обнаружено 116 пестицидов; образцах, отобранных на органических фермах – 71 пестицид. Исследования показали, что содержание пестицидов в органических кормовых концентратах было в среднем в 3,7 раза ниже, чем в обычных (не органических) кормах. Содержание пестицидов в навозе и в почве в органических хозяйствах было на 14% и 42% ниже чем в обычных хозяйствах. Антипаразитарные препараты были обнаружены в навозе только в трех обычных и в одном органическом предприятии из 25 обследованных; в остальных хозяйствах оно было ниже предела обнаруживания.

Исследования выявили изменения, произошедшие с популяцией птиц, которые гнездились на территориях предприятий в течение 20 лет с 1998-2018 гг. Для большинства гнездящихся пар луговых птиц преобладает тенденция к снижению популяции. Жаворонок полностью исчез, а численность северного чибиса и чернохвостого веретенника уменьшилась во всех обследованных хозяйствах, за исключением одного предприятия – биохозяйства на берегу озера Randmeer. На территории большей части как обычных, так и органических ферм, птиц очень мало. При этом на землях двух орга-

нических ферм находилось более половины от общего количества гнездящихся пар птиц всех обследованных 25 предприятий.

С целью оценки возможного влияния обнаруженных веществ на экосистему, сравнивали содержание пестицидов в образцах с существующими нормативами (часто противоречивыми). Исходя из стандартов VR (незначительный риск) и LR50 (летальность для 50% пробных организмов), с высокой степенью вероятности можно утверждать, что большое количество найденных пестицидов оказывает существенное влияние на экосистему территорий выпаса. Еще большее беспокойство вызывает то, что совместное влияние этих веществ, их синергические взаимодействия, а также кумулятивное воздействие на экосистему неизвестны. Кроме того, неизвестны зависящие от времени эффекты некоторых пестицидов и их метаболитов, которые в большинстве случаев не установлены и не определяются.

На основании полученной информации можно сделать вывод, что экосистеме животноводческих ферм серьезно угрожает большое количество используемых на ферме или поступающих с кормами или навозом пестицидов. Установлено, что в свежем навозе коров на наиболее загрязненных предприятиях практически не было обнаружено жесткокрылых (жуков). В навозе предприятий, где не используется концентрированный корм и сено с высоким содержанием инсектицидов, заселение жуками свежего навоза значительно выше. На основании полученных данных можно сделать заключение, что экосистема в пастбищных районах может устойчиво функционировать только в том случае, если показатели ПДК (МДУ) для отдельных ингредиентов в комбикормах будут снижены в 1000 раз, особенно для инсектицидов. Также должны быть установлены нормы для остаточных количеств пестицидов в соломе, в сене и в других грубых кормах. В настоящее время в Европейском законодательстве такие нормы отсутствуют. Далее следует отказаться в пастбищных хозяйствах от использования химических средств защиты животных против паразитов.

Исследование показало, что луговые птицы не смогут выжить на территориях, которые подвергается большой нагрузке пестицидами, включая многие высокотоксичные инсектициды (как дельтаметрин, сиперметрин, пиримифос-метил и другие), так как энтомофауна находится под серьёзной угрозой. Поступление пестицидов в органические хозяйства, как правило, происходит извне, прежде всего через кормовые концентраты, а также через осадки, закупку соломы зерновых из обычных хозяйств на подстилку, через вещества, которые используются в стойлах и в хранилищах навоза для борьбы с насекомыми. С загрязненным пестицидами навозом они поступают в почву. Дополнительными источниками загрязнения, вероятно, являются загрязнённые поверхностные воды, ил из канав, в которые пестициды поступали в прошлом и теперь циркулируют в пастбищных хозяйствах. Кроме того, ветеринарные препараты, которые применяют на животноводческих фермах, иногда, по сути являются очень сильными инсектицидами. И хотя загрязнение почвы органических хозяйств немного меньше, однако довольно часто био-комбикорм и органический навоз, все равно содержат слишком много пестицидов, опасных для экосистемы. Многие пестициды также попадают в комбикорма в результате дезинфекции складских помещений и транспортных средств. Меры, необходимые для защиты экосистемы пастбищ от больших нагрузок пестицидами, достаточно просты:

1. Для животноводческих хозяйств должно быть известен состав (содержание пестицидов) в комбикормах. Это даст фермерам свободу выбора.

2. Органические хозяйства не должны покупать солому для подстилки из обычных (не органических) хозяйств.

3. Максимально-допустимые уровни содержания пестицидов кормах для животных должны быть пересмотрены на основании экологических исследований.

4. Необходимо ознакомить фермеров об экологических последствиях использования пестицидов, применяемых при содержании жи-

вотных в стойлах против паразитов, показать им альтернативные методы.

PESTICIDES IN AGRICULTURE AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT

Beis E.[1], Manting M.[2]

[1]Buijs Agro-Services, Netherlands, Bennekom, e-mail: jelmerbuijs@gmail.com

[2]Stichting Women Engage for a Common Future (WECF), Netherlands, e-mail margriet.mantingh@wecf.org

Annotation. In the Netherlands, population of meadow birds are declining at an alarming rate. Present nature protection policies were so far not able to stop this negative trend. Pesticides may play a role in this decline. In 2018 our team took therefor 87 samples of manure (of cattle, horses and pigs), soil and concentrated feed at 25 farms, that were interested in this research. These samples were analyzed for the presence of 664 pesticides, biocides and their metabolites. In total 134 different pesticides, biocides and their metabolites were found, most of which were present in the manure (both liquid and solid manure). In this research also manure samples were taken in the pastures and the numbers of Coleoptera were counted per kg manure. It turned out that there was a statistical significant correlation between the uptake of insecticides by cattle per day (calculated on basis of measured contents in concentrated feed and hay) and the number of Coleoptera counts. In this article it is discussed that there are no legal maximal threshold values for pesticide residues in manure, hay, straw, concentrated feed and soil and what should be done to improve this situation, in order to protect the entomofauna and the avifauna (birds) that depend on it.

Keywords: Pesticides, manure, concentrated feed, feeding animals on pastures, entomofauna, birds.

УДК: 631.452.164.24

ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ МОЛДОВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Б.П. Боинчан[1,2], С.С. Стадник[2]

[1]НИИ Полевых Культур «Селекция», г. Бельцы, Республика Молдова, bboincean@gmail.com

[2]Бельцкий государственный университет имени Алеку Руссо, г. Бельцы, Республика Молдова, stadnicst@gmail.com

Аннотация. Результаты длительного применения различных систем удобрения в шестипольном стационарном севообороте на типичном чернозёме Бельцкой степи Республики Молдова демонстрируют стабилизацию урожайности после первоначального роста и дальнейшую тенденцию снижения за последние 20 лет. Доля почвенного плодородия в формировании урожайности культур и продуктивности севооборота при применении удобрений варьирует в пределах 70-76%. Минеральная система удобрения не может компенсировать возрастающие минерализационные потери органического вещества почвы. Проблема рационального менеджмента органического вещества почвы, как интегрального показателя почвенного плодородия, является краеугольной в достижении устойчивого развития современного земледелия.

Ключевые слова: система удобрения, навоз, плодородие, продуктивность, почва, органическое вещество почвы, азот.

Сельское хозяйство большинства стран мира, в т. ч. и Республики Молдова, столкнулось с большими проблемами экономического, экологического и социального плана как следствие преобладающего техногенного подхода к интенсификации земледелия. Первоначальные успехи «зелёной революции» сменились обострением последствий одностороннего подхода к интенсификации. Пе-

реход к рыночной экономике не устраняет, а наоборот углубляет противоречие между кратковременными экономическими интересами и долговременными (перспективными) интересами по охране окружающей среды, в. т. почв [2-5].

Целью исследований, проведённых в длительном (заложенном в 1971 году) севообороте, является оценка эффективности различных систем удобрения с учётом не только затрат на производство сельскохозяйственной продукции, но и на восстановление почвенного плодородия.

В данном опыте изучается влияние минеральной (варианты 2-4), органо-минеральной (варианты 5-10) и органической (вариант 11), систем удобрения на продуктивность и плодородие типичного чернозёма в шестипольном севообороте (вико-овёс – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на зерно – яровой ячмень – подсолнечник). В качестве контроля (неудобренного фона) служит вариант 1.

Схема опыта включает 12 вариантов:

1) без удобрений (контроль);
2) NPK 75 кг д.в./га севооборота;
3) NPK 130 кг д.в./га севооборота;
4) NPK 175 кг д.в./га севооборота;
5) навоз 10 т/га + NPK 75 кг д.в./га севооборота;
6) навоз 10 т/га + NPK 130 кг д.в./га севооборота;
7) навоз 10 т/га + NPK 175 кг д.в./га севооборота;
8) навоз 15 т/га + NPK 75 кг д.в./га севооборота;
9) навоз 15 т/га + NPK 130 кг д.в./га севооборота;
10) навоз 15 т/га + NPK 175 кг д.в./га севооборота;
11) навоз 15 т/га севооборота;
12) последействие NPK (внесённых до 1990 года).

Почва в опыте представлена чернозёмом типичным тяжелосуглинистым со следующей характеристикой (на момент закладки опыта): содержание гумуса в слое 0-60 см – 3,83 %, общее содер-

жание азота, фосфора и калия, соответственно, 0,24-0,26; 0,12-0,13 и 1,20-1,40 %, обменная кислотность – 6,2.

Все удобрения вносятся под озимую пшеницу, сахарную свеклу, кукурузу на зерно и подсолнечник с осени, за исключением поля, занятого озимой пшеницей, где ½ дозы минерального азота вносится с осени до посева и ½ – весной в качестве подкормки. Вико-овсяная смесь на зелёную массу и яровой ячмень используют последействие удобрений, внесённых под предшествующие культуры.

Расположение вариантов – систематическое в 4 повторениях. Повторения расположены в 2 яруса. Делянки общей площадью 242м2 имеют прямоугольную форму (5,6 м х 43,2 м).

Достоверность экспериментальных данных подтверждена статистической обработкой по Доспехову Б.А. [1].

Метеорологические условия в годы исследований характеризовались отклонениями, порой значительными, от средних многолетних (рис. 1, 2).

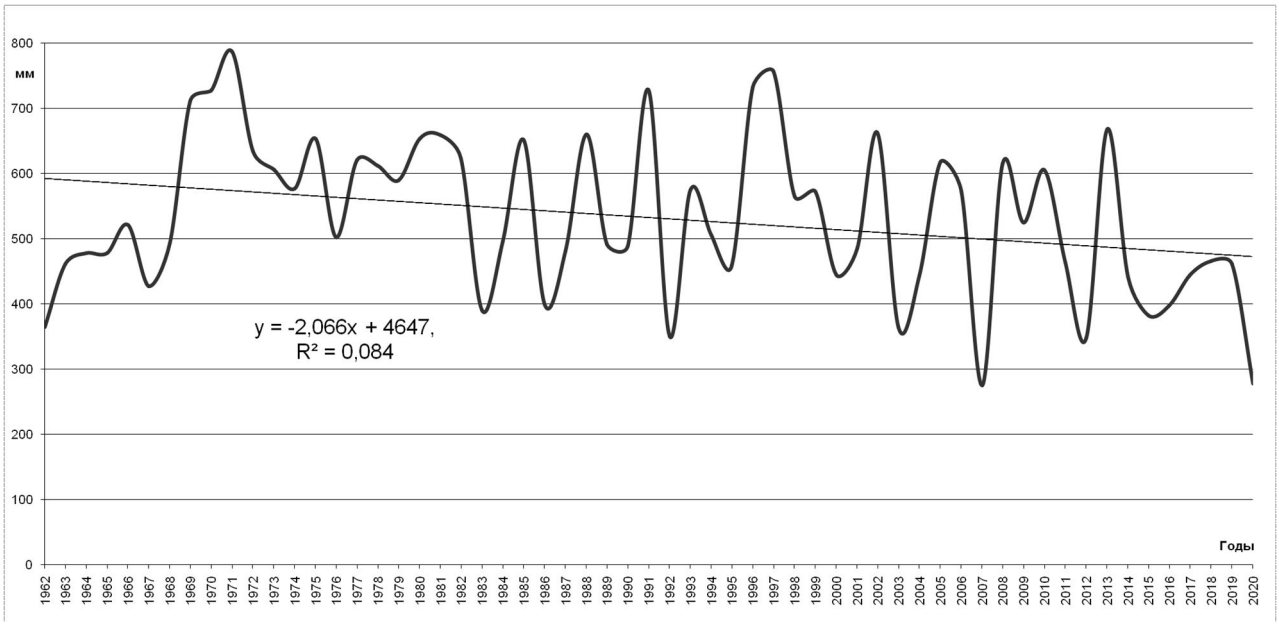

Рис. 1. Динамика выпадения осадков (мм) по сельскохозяйственным годам за период 1961-1962 – 2019-2020 гг., метеостанция НИИПК «Селекция»

В целом, необходимо отметить явную тенденцию снижения количества осадков (рис. 1) и повышение средних температур (рис. 2), что не могло не отразиться на эффективности внесённых удобрений и урожайности культур (рис. 3-8).

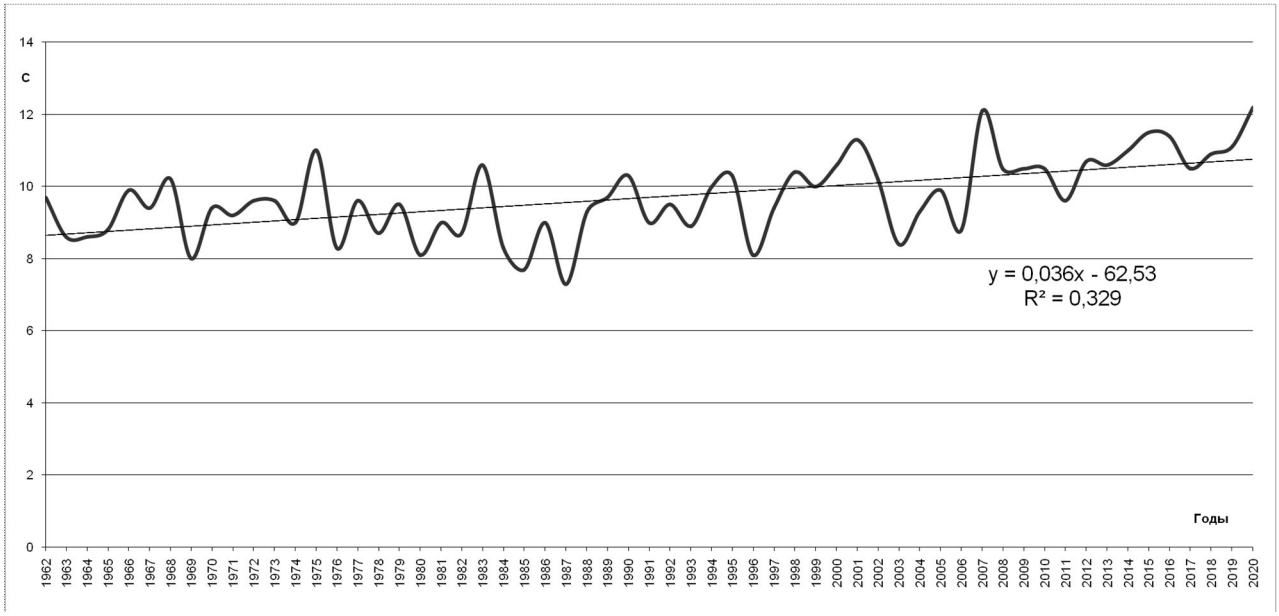

Рис. 2. Динамика средних температур (°С) по сельскохозяйственным годам за период 1961-1962 – 2019-2020 гг., метеостанция НИИПК «Селекция».

Повышение урожайности озимой пшеницы до начала 90-х годов сопровождается последующим её снижением (рис. 3).

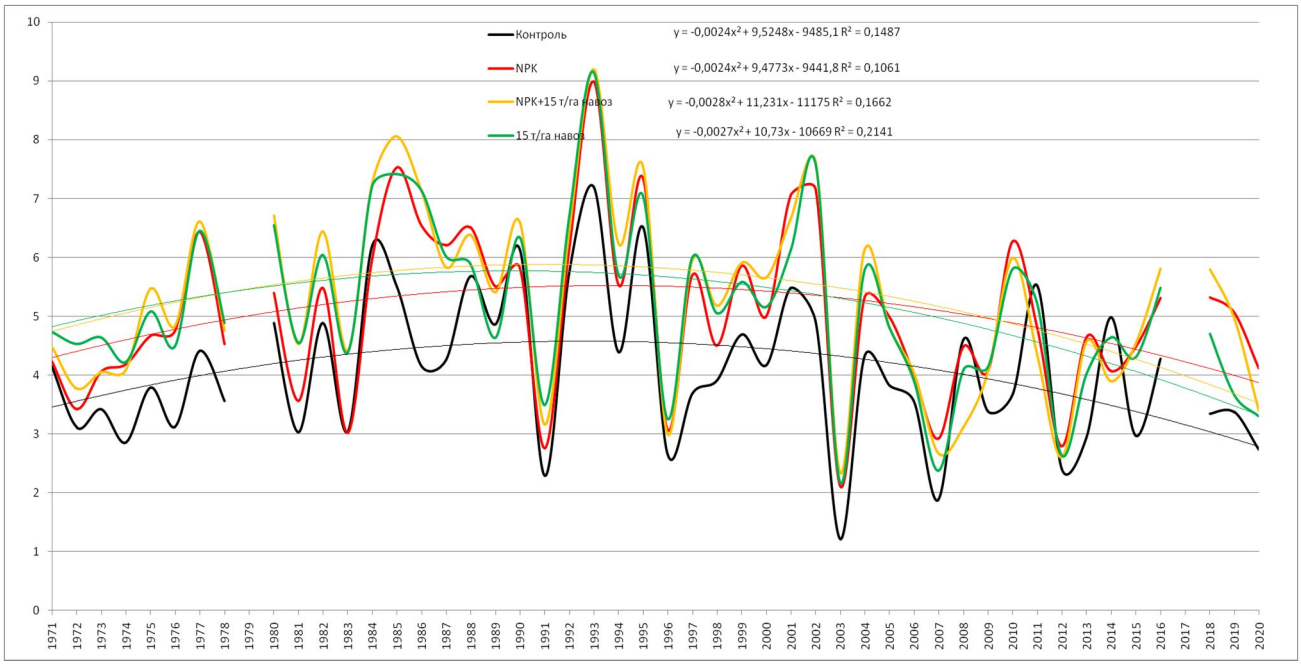

Рис. 3. Урожайность озимой пшеницы (т/га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1971-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова).

В случае с сахарной свеклой, при высокой отзывчивости на внесение удобрений, тенденция снижения урожайности наблюдается с начала 80-х годов (рис. 4).

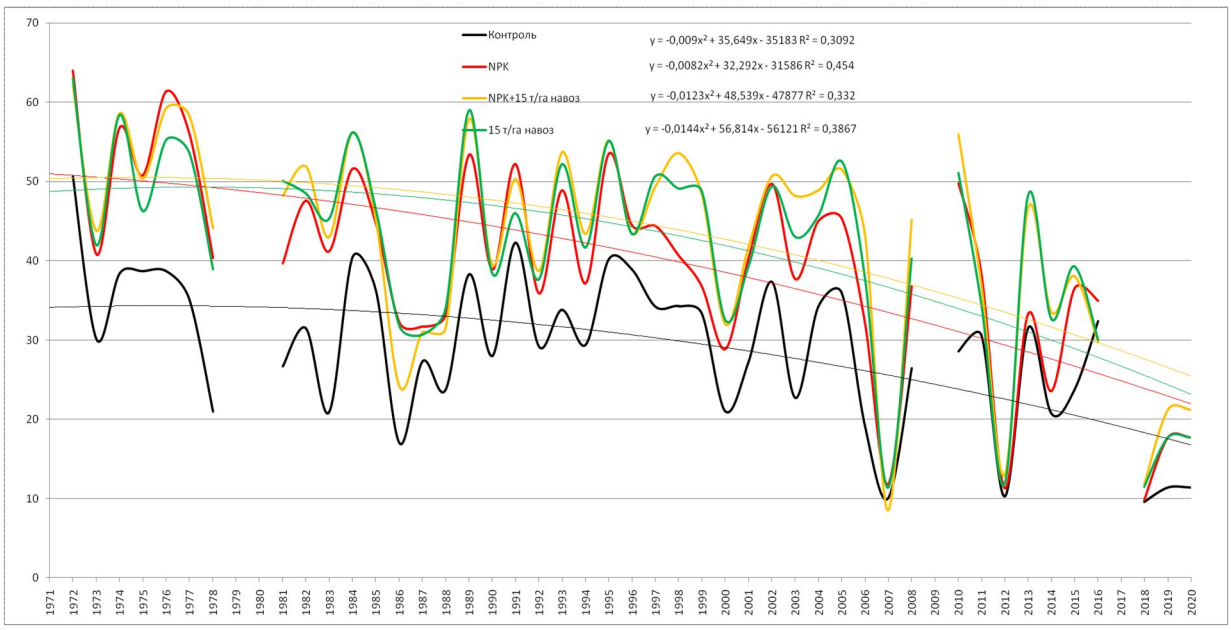

Рис. 4. Урожайность сахарной свеклы (т/га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1972-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

Полученные данные по урожайности кукурузы на зерно демонстрируют слабую зависимость от внесения удобрений (рис. 5).

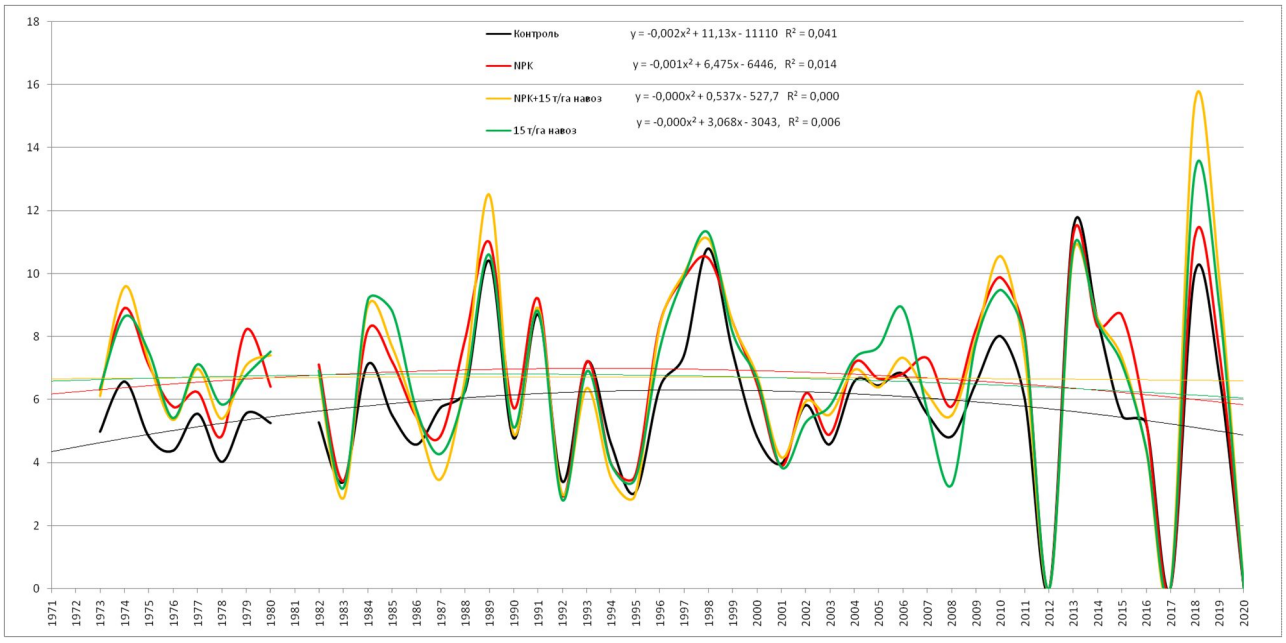

Рис. 5. Урожайность кукурузы на зерно (т/га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1974-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

У подсолнечника, равно как и у озимой пшеницы и сахарной свеклы, происходит снижение урожайности начиная с 80-90-х годов (рис. 6).

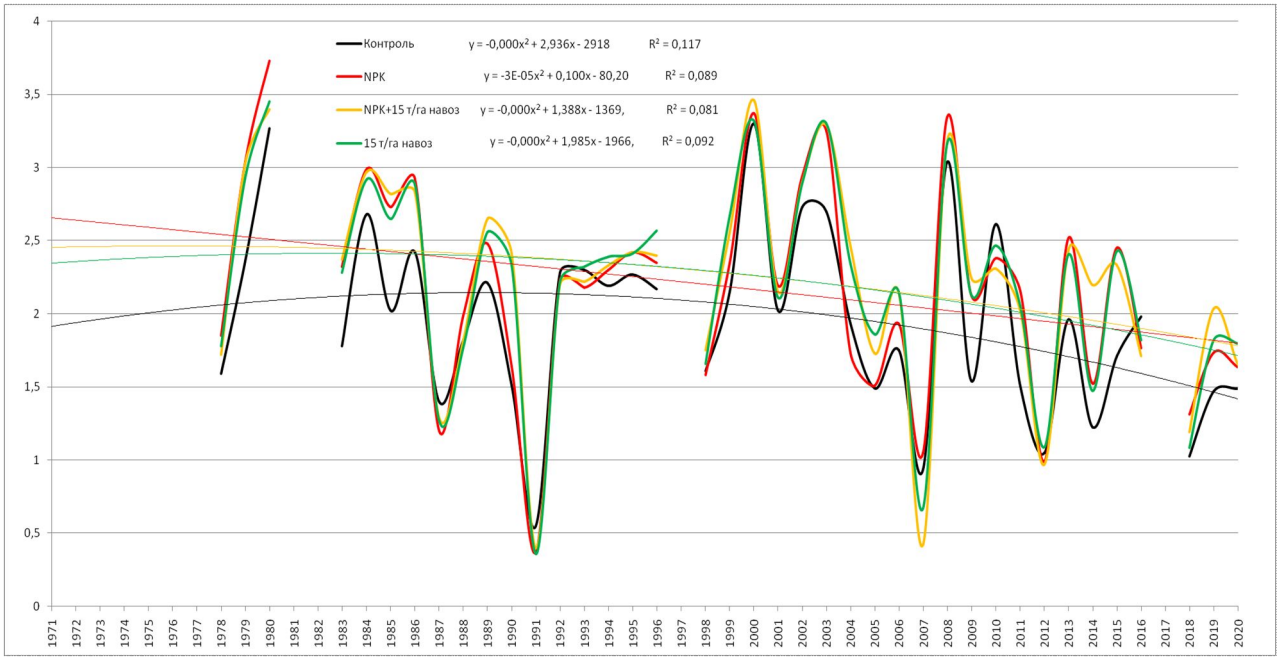

Рис. 6. Урожайность подсолнечника (т/га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1978-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

Урожайность вико-овсяной смеси и ярового ячменя, демонстрирующих высокую отзывчивость на последействие удобрений внесённых под предшествующие культуры в севообороте, в то же время наиболее сильно варьирует по годам, в зависимости от метеорологических условий (рис. 6, 7).

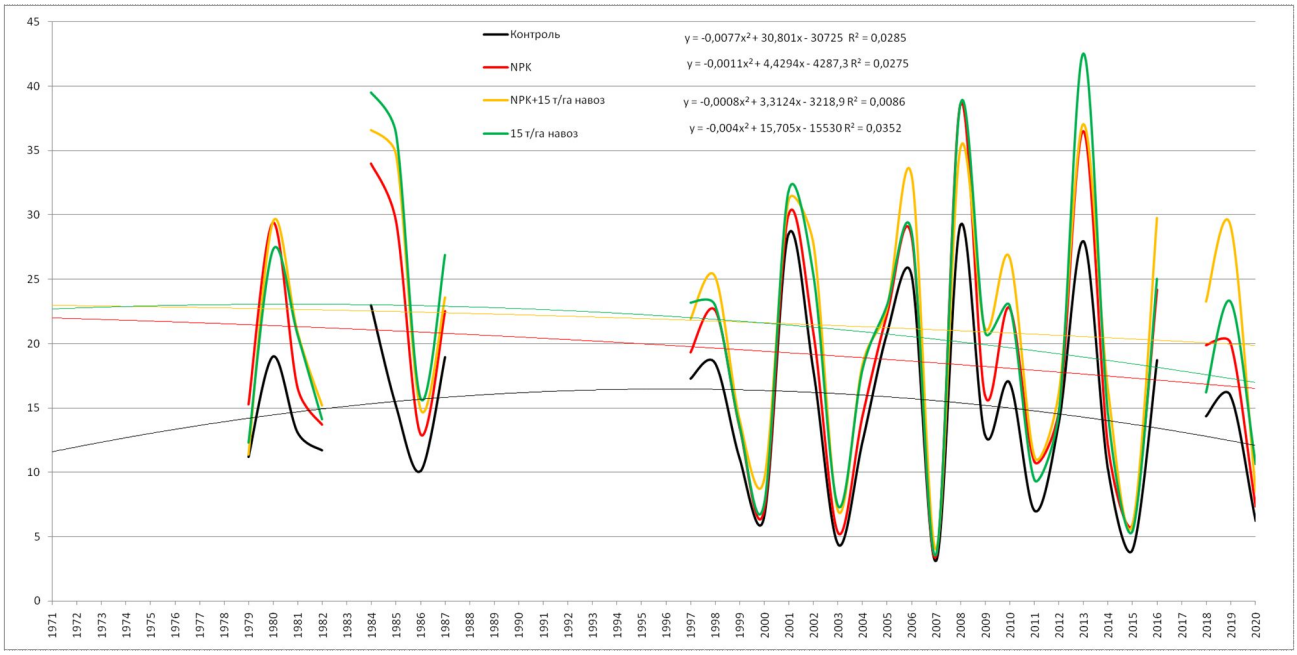

Рис. 7. Урожайность вико-овсяной смеси (т/га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1979-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

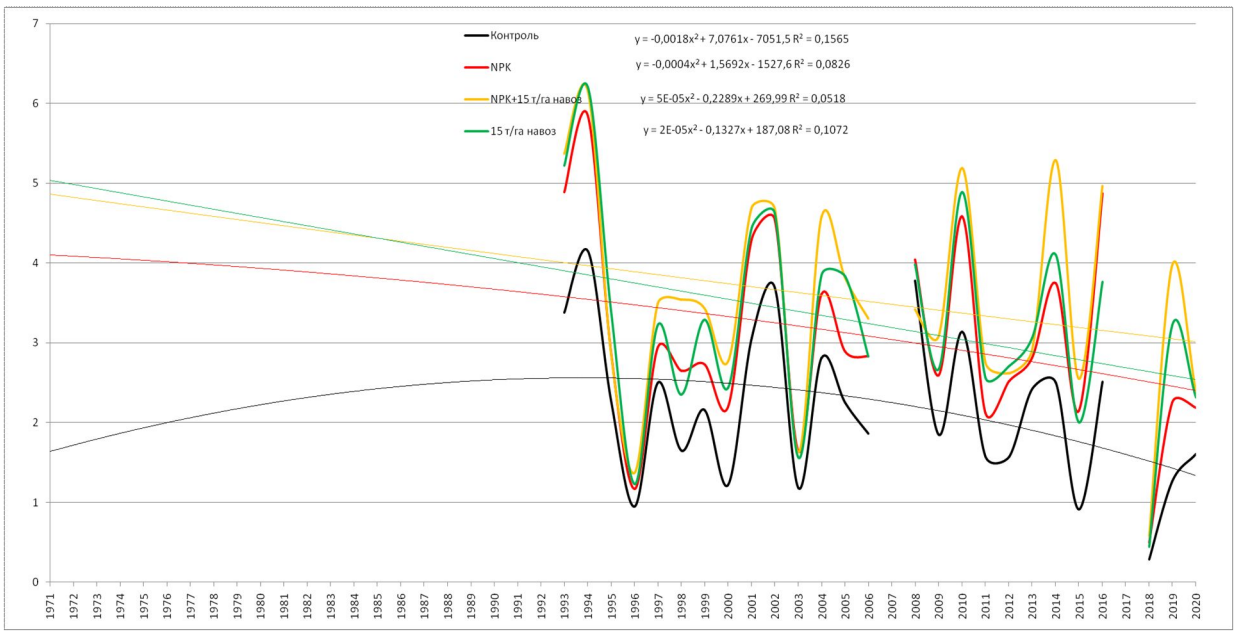

Рис. 8. Урожайность ярового ячменя (т/га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1993-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

В целом по севообороту с середины 90-х годов наблюдается снижение продуктивности, выраженной в зерновых единицах (рис. 9).

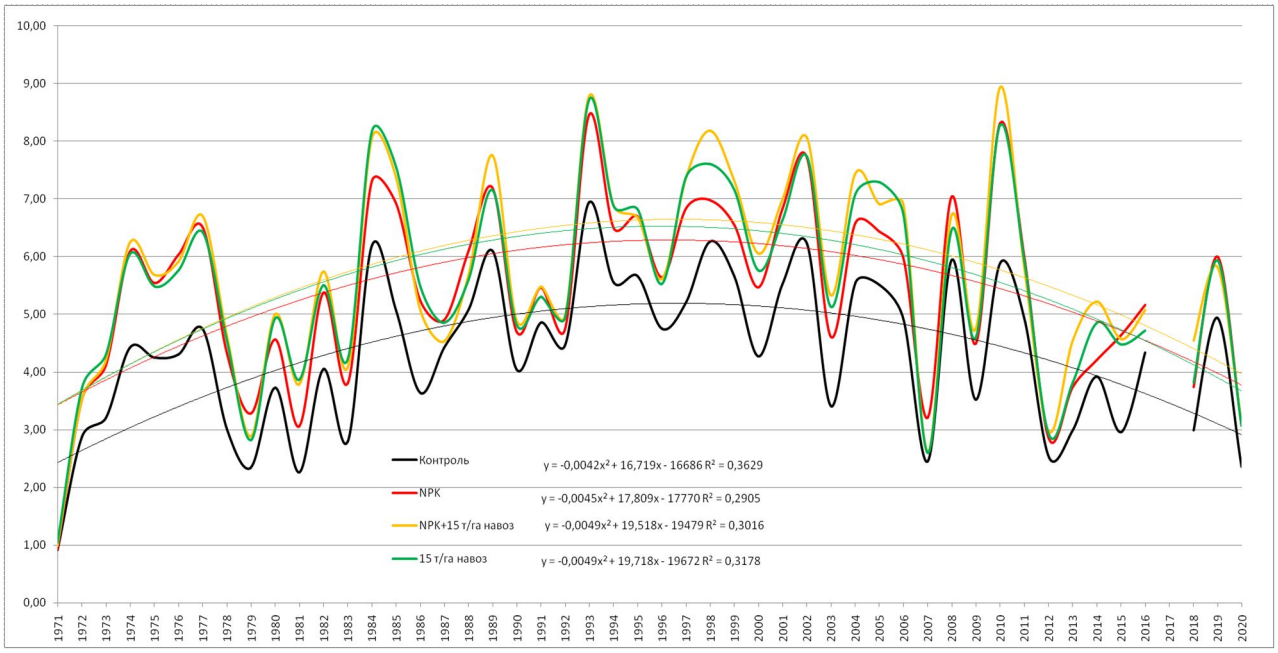

Рис. 9. Продуктивность севооборота (зерновых единиц, т/ га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1971-2020 гг.,
(НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

Данные по всем исследуемым вариантам демонстрируют существенные прибавки продуктивности севооборота по сравнению с контролем (рис. 10).

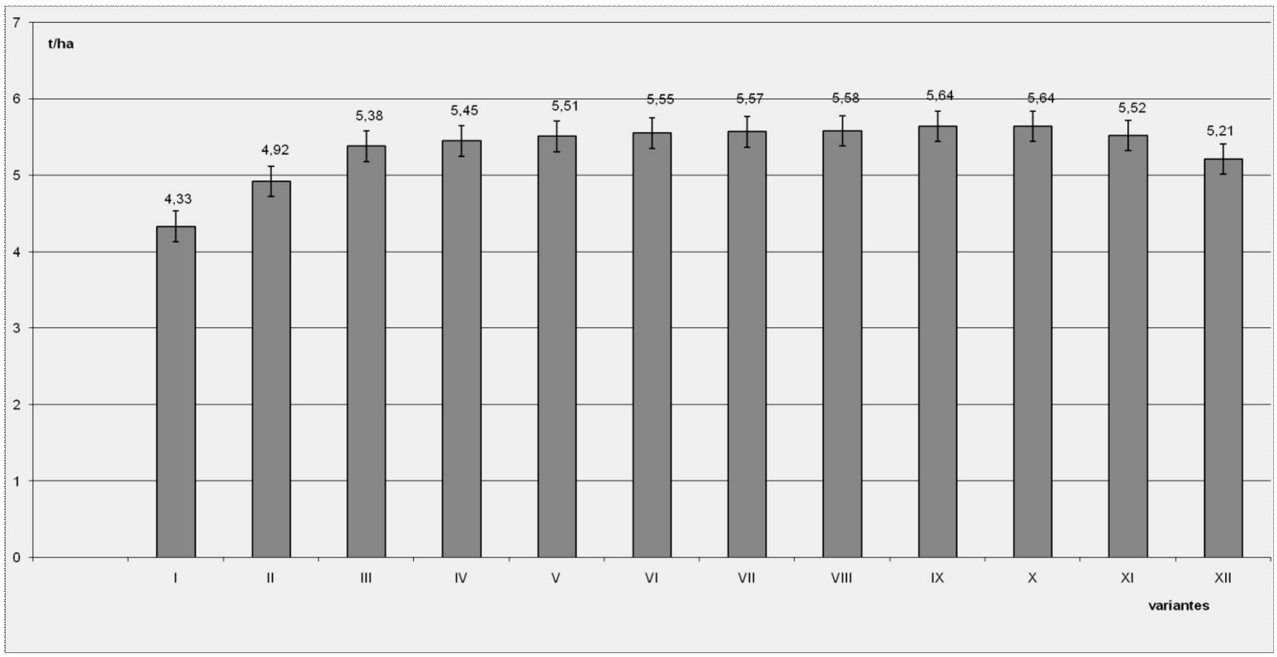

Рис. 10. Продуктивность севооборота (зерновых единиц, т/ га) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1971-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова)

Начиная с более высоких доз минеральных удобрений (вариант 3, NPK 130 кг д.в./га севооборота) различия в продуктивности севооборота являются несущественными, достигая максимальных значений при смешанной системе удобрения (варианты 9 и 10). Необходимо отметить, что органическая система удобрения (вариант 11) превысила по продуктивности варианты минеральной системы удобрения (варианты 2-4).

Окупаемость минеральных удобрений (кг д. в.) прибавкой урожая (кг зерновых единиц) на фоне органических удобрений в 2 раза выше при минимальной дозе (NPK 75 кг д.в./га севооборота), снижаясь при повышении доз минеральных удобрений в 1,5-2 раза (рис. 11).

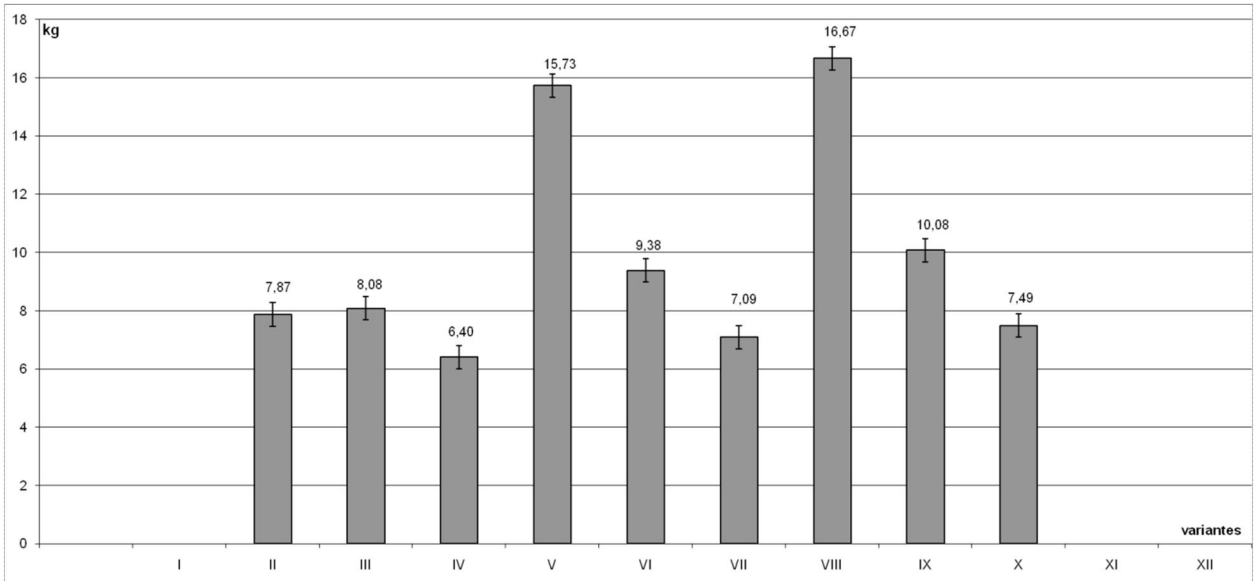

Рис. 11. Окупаемость минеральных удобрений продуктивностью севооборота (кг з.е./кг д.в. NPK) на фоне разных систем удобрения в севообороте, средняя за 1971-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова).

Тем не менее, с экономической точки зрения, внесение удобрений не покрывает расходы прибавкой урожая (табл. 1).

1. Прибавки в урожайности культур, реально полученные и необходимые для обеспечения окупаемости затрат по внесению минеральных удобрений в длительном опыте с разными системами удобрения в севообороте, средние за 2011-2016 гг., НИИПК «Селекция»

Культуры	Дозы минеральных удобрений, кг д. в./га	Реально полученная прибавка в урожайности культур, т/га	Необходимая прибавка в урожайности для окупаемости затрат
Озимая пшеница	NPK 75	0,64	0,91
	NPK 130	0,49	1,70
	NPK 175	0,69	1,82
Сахарная свекла	NPK 75	3,75	3,00
	NPK 130	4,80	5,70
	NPK 175	5,45	6,60
Кукуруза на зерно	NPK 75	0,91	1,14
	NPK 130	0,82	1,78
	NPK 175	0,26	2,56
Подсолнечник	NPK 75	0,27	0,40
	NPK 130	0,33	0,70
	NPK 175	0,33	0,75

Сопоставление затрат только на минеральные удобрения (без учёта дополнительных затрат на погрузку, транспортировку, смеше-

ние и внесение) стоимостью прибавки урожая (без дополнительных затрат на уборку, транспортировку и доработку прибавки урожая) демонстрирует экономическую несостоятельность внесения минеральных удобрений при актуальных ценах на минеральные удобрения и сельскохозяйственную продукцию. Ситуация усугубляется дальнейшим повышением цен на минеральные удобрения.

Доля почвенного плодородия в формировании продуктивности севооборота (разница в урожайности культур на удобренном фоне и контроле) за исследуемый период составила на разных вариантах 70-86 % (рис. 12).

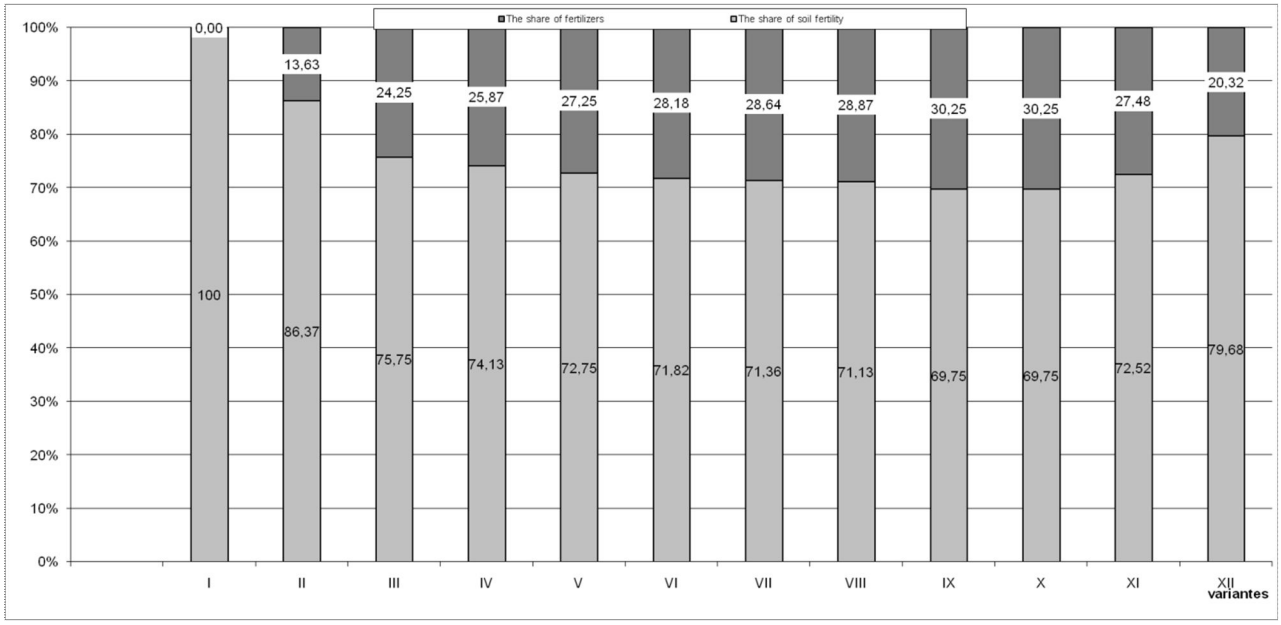

Рис. 12. Доля почвенного плодородия в формировании продуктивности севооборота, средняя за 1971-2020 гг., (НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова).

Воспроизводство почвенного плодородия, выраженного разницей в содержании органического вещества почвы в метровом слое в 1970 и в 2012 году, произошло только на вариантах с внесением навоза с или без минеральных удобрений.

Для поддержания бездефицитного баланса органического вещества почвы (как интегрального показателя почвенного плодородия) типичного чернозёма в зерносвекловичном севообороте необходимо внесение навоза в количестве 10-15 т/га севооборотной площади.

2. Изменение запасов органического вещества почвы (по углероду) в длительном опыте НИИПК «Селекция», Бельцы, Республика Молдова, с разными системами удобрений в севообороте, средние за 1970-2012 гг., т/га и %.

Слой почвы, см	Исходные запасы углерода	Без удобрений		NPK 130		NPK 130 + 10 т/га навоза		NPK 130 + 15 т/га навоза		15 т/га навоза	
		т/га	Ежегодные потери, кг/га	т/га	Ежегодные потери, кг/га	т/га	Ежегодные потери, кг/га	т/га	Ежегодные потери, кг/га	т/га	Ежегодные потери, кг/га
0-20	55,7	46,2	-226,2	48,8	-164,3	54,3	-33,3	56,1	9,5	54,8	-21,4
20-40	51,4	37,9	-321,4	42,0	-223,8	52,6	28,6	55,2	90,5	53,8	57,1
40-60	29,1	22,1	-166,7	27,8	-31,0	37,2	192,9	46,5	414,3	41,1	286
60-80	23,0	16,0	-166,7	18,8	-100,0	24,1	26,2	22,7	-7,1	21,8	-28,6
80-100	19,3	9,8	-226,2	14,0	-126,2	15,1	-100,0	15,4	-92,9	15,7	-85,7
0-100	178,4	132,0	-1104,8	151,4	-642,9	183,3	116,7	195,9	416,7	187,1	207,1

Анализ запасов общего азота в метровом слое почвы в течение 39 лет использования различных систем удобрения в севообороте приведён в таблице 3.

3. Изменение запасов общего азота (т/га) в слое почвы 0-100 см под воздействием разных систем удобрений в севообороте, НИИПК «Селекция», 1970-2009 гг., т/га

Системы удобрения в севообороте	Запасы общего азота	
	т/га	± т/га
Исходные запасы (1970 год)	17,88	-
Контроль (без удобрений)	15,79	-2,08
NPK 75 кг д.в./га севооборота	14,22	-3,66
NPK 130 кг д.в./га севооборота	13,53	-4,35
NPK 175 кг д.в./га севооборота	13,64	-4,24
15 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га севооборота	18,58	-0,70
15 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га севооборота	17,80	-0,08
15 т/га навоза + 175 кг д.в./га севооборота	19,22	+1,35
15 т/га навоза	17,89	+0,01

Наибольшие потери общих запасов азота в метровом слое почвенного профиля были в вариантах с минеральной системой удоб-

рений, что позволяет сделать вывод об ускорении процессов разложения органического вещества почвы минеральными удобрениями.

Коэффициент использования азота озимой пшеницей из удобрений по вариантам опыта варьирует в пределах 24,9-49,5 %, в т.ч. из минеральных удобрений – 24,9-31,0 % (таб. 4).

4. Эффективность использования азота из минеральных удобрений озимой пшеницей в длительном опыте по изучению различных систем удобрений в севообороте, НИИПК «Селекция», средние за 1971-2020 гг.

Системы удобрения в севообороте	Прибавка урожая, т/га	Вынос азота прибавкой урожая, кг/га	Внесено азота с минеральными удобрениями, кг/га	Коэффициент использования азота, %	Компенсирование общего выноса азота из удобрений, %	Доля почвенного плодородия в формировании урожая, %
Контроль (без удобрений)	-	-	-	-	0	100,0
NPK 75 кг д.в./га севооборота	0,72	18,58	60,0	31,0	14,8	85,2
NPK130 кг д.в./га севооборота	0,91	23,48	90,0	26,1	18,2	82,0
NPK 175 кг д.в./га севооборота	1,16	29,93	120,0	24,9	21,9	78,1
10 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	1,12	28,90	60,0	48,2	21,3	78,7
10 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га	1,22	31,48	90,0	35,0	22,8	77,2
10 т/га навоза + 175 кг д.в./га	1,11	28,64	120,0	23,9	21,1	78,9
15 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	1,15	29,67	60,0	49,5	21,7	78,3
15 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га	1,16	29,93	90,0	33,3	21,9	78,1
15 т/га навоза + 175 кг д.в./га	1,24	31,99	120,0	26,7	23,1	77,0
15 т/га навоза	1,09	28,12	-	-	-	79,2
Последействие NPK	0,95	24,51	-	-	-	81,3

Компенсация общего выноса азота из минеральных удобрений по вариантам опыта составляет 14,8-23,1 %, в т.ч. на фоне внесения минеральных удобрений – 14,8-21,9 %.

Доля почвенного плодородия в формировании урожайности озимой пшеницы, судя по эффективности использования азота из минеральных удобрений, составляет 77,2-85,2 %.

Коэффициент использования азота сахарной свеклой из минеральных удобрений является самым высоким в севообороте и варьирует по вариантам в пределах 57,4-100 % (таб. 5).

5. Эффективность использования азота из минеральных удобрений сахарной свеклой в длительном опыте по изучению различных систем удобрений в севообороте, НИИПК «Селекция», средние за 1972-2020 гг.

Системы удобрения в севообороте	Прибавка урожая, т/га	Вынос азота прибавкой урожая, кг/га	Внесено азота с минеральными удобрениями, кг/га	Коэффициент использования азота, %	Компенсирование общего выноса азота из удобрений, %	Доля почвенного плодородия в формировании урожая, %
Контроль (без удобрений)	-	-	-	-	0	100,0
NPK 75 кг д.в./га севооборота	6,67	25,75	30,0	85,8	18,4	81,6
NPK130 кг д.в./га севооборота	10,79	41,65	60,0	69,4	26,7	73,3
NPK 175 кг д.в./га севооборота	10,83	41,80	90,0	46,5	26,8	73,2
10 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	12,05	46,51	30,0	-	28,9	71,1
10 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га	11,61	44,81	60,0	74,7	28,2	71,8
10 т/га навоза + 175 кг д.в./га	13,39	51,69	90,0	57,4	31,1	68,9
15 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	11,84	45,70	30,0	-	28,6	71,4
15 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га	13,85	53,46	60,0	89,1	31,9	68,1
15 т/га навоза + 175 кг д.в./га	13,38	51,65	90,0	57,4	31,1	68,9
15 т/га навоза	12,85	49,60	-	-	-	69,7
Последействие NPK	8,61	33,23	-	-	-	77,5

Компенсация общего выноса азота из минеральных удобрений по вариантам составляет 18,4-31,9 %, в т.ч. из минеральных удобрений – 18,4-26,8 %.

Доля почвенного плодородия в формировании урожайности сахарной свеклы, судя по эффективности использования азота из удобрений, составляет от 68,1-81,6%, в т.ч. на фоне отдельного внесения минеральных удобрений – 73,3-81,6%.

В случае с кукурузой на зерно коэффициент использования азота из удобрений по вариантам варьирует в пределах 11,6-43,2 %, в т.ч. из минеральных удобрений – 15,2-42,3%. (таб. 6).

6. Эффективность использования азота из удобрений кукурузой на зерно в длительном опыте по изучению различных систем удобрений в севообороте, НИИПК «Селекция», средние за 1974-2020 гг.

Системы удобрения в севообороте	Прибавка урожая, т/га	Вынос азота прибавкой урожая, кг/га	Внесено азота с минеральными удобрениями, кг/га	Коэффициент использования азота, %	Компенсирование общего выноса азота из минеральных удобрений, %	Доля почвенного плодородия в формировании урожая, %
Контроль (без удобрений)	-	0	0	-	0	100,0
NPK 75 кг д.в./га севооборота	0,99	25,39	60,0	42,3	13,7	86,3
NPK130 кг д.в./га севооборота	0,97	24,88	90,0	27,7	13,4	86,6
NPK 175 кг д.в./га севооборота	0,89	22,83	150,0	15,2	12,5	87,6
10 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	0,85	21,80	60,0	36,3	12,0	88,1
10 т/га навоза + NPK130 кг д.в./га	0,98	25,14	90,0	27,9	13,5	86,5
10 т/га навоза + 175 кг д.в./га	0,68	17,44	150,0	11,6	9,8	90,2
15 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	1,01	25,91	60,0	43,2	13,9	86,1
15 т/га навоза + NPK130 кг д.в./га	0,84	21,55	90,0	23,9	11,8	88,2
15 т/га навоза + 175 кг д.в./га	0,78	20,01	150,0	13,3	11,1	88,9
15 т/га навоза	0,85	21,80	-	-	-	88,1
Последействие NPK	0,75	19,24	-	-	-	89,3

Компенсация общего выноса азота из удобрений по вариантам составляет 9,8-13,9%, в т.ч. из минеральных удобрений – 12,5-13,7%.

Доля почвенного плодородия в формировании урожайности кукурузы на зерно, судя по эффективности использования азота из минеральных удобрений, составляет от 88,1-90,2 %, в т.ч. на фоне внесения минеральных удобрений – 14,8-21,9 %.

Коэффициент использования азота подсолнечником из минеральных удобрений по вариантам варьирует в пределах 13,5-47,5 %, в т.ч. из минеральных удобрений – 13,5-19,0 %. (таб. 7).

7. Эффективность использования азота из удобрений подсолнечником в длительном опыте по изучению различных систем удобрений в севообороте, НИИПК «Селекция», среднее за 1978-2020 гг.

Системы удобрения в севообороте	Прибавка урожая, т/га	Вынос азота прибавкой урожая, кг/га	Внесено азота с минеральными удобрениями, кг/га	Коэффициент использования азота, %	Компенсирование общего выноса азота из минеральных удобрений, %	Доля почвенного плодородия в формировании урожая, %
Контроль (без удобрений)	-	0	0	-	0	100,0
NPK 75 кг д.в./га севооборота	0,12	5,70	30,0	19,0	5,6	94,4
NPK130 кг д.в./га севооборота	0,23	10,92	60,0	18,2	10,3	89,7
NPK 175 кг д.в./га севооборота	0,17	8,07	60,0	13,5	7,8	92,2
10 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	0,30	14,24	30,0	47,5	13,0	87,0
10 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га	0,22	10,45	60,0	17,4	9,9	90,1
10 т/га навоза + 175 кг д.в./га	0,24	11,40	60,0	19,0	10,7	89,3
15 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	0,21	9,97	30,0	33,2	9,5	90,5
15 т/га навоза + NPK 130 кг д.в./га	0,27	12,82	60,0	21,4	11,8	88,2
15 т/га навоза + 175 кг д.в./га	0,21	9,97	60,0	16,6	9,5	90,5
15 т/га навоза	0,25	11,87	-	-	-	88,9
Последействие NPK	0,14	6,65	-	-	-	93,5

Компенсация общего выноса азота из удобрений по вариантам составляет 5,6-13,0 %, в т.ч. на фоне отдельного внесения минеральных удобрений – 5,6-10,3 %.

Доля почвенного плодородия в формировании урожайности подсолнечника, судя по эффективности использования азота из минеральных удобрений, составляет от 87,0-94,4 %, в т.ч. на фоне минеральной системы удобрения – 89,7-94,4 %.

Вынос азота прибавками урожаев за период 1973-2009 на разных вариантах опыта варьировал в пределах 631-1474 кг/га (таб. 8).

Потери общего азота в метровом слое почвы за период 1970-2009 составил на фоне минеральной системы удобрения 3660-4350 кг д.в./га (таб. 9).

8. Количество вынесенного азота урожаями культур в севообороте при разных системах удобрения за период 1973-2009 гг., кг/га, НИИПК «Селекция»

Системы удобрения в севообороте	Вынесено всего азота с урожаями культур	в т.ч. вынесено азота прибавками урожаев	Внесено азота с удобрениями	в т.ч. внесено азота с мин. удобрениями	в т.ч. с органическими удобрениями
Контроль (без удобрений)	2649,4	0	0	0	0
NPK 75 кг д.в./га севооборота	3280,4	631,0	930	930	0
NPK 130 кг д.в./га севооборота	3923,1	1273,5	2222	2010	212
NPK 175 кг д.в./га севооборота	3933,7	1284,2	2792	2580	212
15 т/га навоза + NPK 75 кг д.в./га	4042,2	1392,6	3732	1530	2202
15 т/га навоза + NPK130 кг д.в./га	4097,8	1447,3	4332	2130	2202
15 т/га навоза + 175 кг д.в./га	4015,6	1366,1	4902	2700	2202
15 т/га навоза	4123,8	1474,4	1194	-	1194

9. Потери общего азота на фоне разных систем удобрения в севообороте за период 1970-2009 гг., кг/га, НИИПК «Селекция»

Потери общего азота	NPK 75 кг д.в./га	NPK 130 кг д.в./га	NPK 175 кг д.в./га
По профилю почвы, 0-100 см	3660	4350	4240
Внесено дополнительно азота с минеральными удобрениями по сравнению с фактически извлечённым количеством прибавкой урожаев культур	299,0	736,5	1331,8
Общее количество азота потерянного из почвенного профиля и дополнительно внесенного с минеральными удобрениями	3959,0	5086,5	5571,8

Выводы:

1. Урожайность культур и продуктивность севооборота стабилизируется после первоначального роста и имеет тенденцию снижения за последние 20 лет.

2. Все системы удобрения в севообороте способствуют существенному росту урожайности культур и продуктивности севооборота по сравнению с абсолютным контролем (без удобрений).

3. Рост цен на минеральные удобрения, особенно при более высоких дозах внесения, снижают их окупаемость полученными прибавками в урожаях культур.

4. Доля почвенного плодородия в формировании урожайности культур и продуктивности севооборота, на фоне всех систем удобрения колеблется от 70 до 76 %, при 100 % на абсолютном контроле (без удобрений).

5. Минеральные удобрения, внесённые отдельно, способствуют наибольшим ежегодным потерям органического вещества почвы (по углероду) во всём почвенном профиле (слой 0-100 см) -642,9 кг/га углерода по сравнению со всеми остальными системами удобрения в севообороте, но они меньше чем на абсолютном контроле (-1104,8 кг/га углерода).

6. Потери общих запасов азота по всему почвенному профилю наибольшие на фоне чисто минеральной системы удобрения в севообороте. Тем самым, минеральные удобрения ускоряют процессы разложения органического вещества почвы.

7. Эффективность (коэффициент) использования азота из минеральных удобрений различными культурами севооборота при их внесении в возрастающих дозах составляет для:

- озимой пшеницы: 24,9-31,0 %;
- сахарной свеклы: 46,5-85,8 %;
- кукурузы на зерно: 15,2-42,3 %;
- подсолнечника: 5,6-10,3 %.

8. Компенсация общего выноса азота растениями из минеральных удобрений составляет для:

- озимой пшеницы: 14,8-21,9 %;
- сахарной свеклы: 18,4-26,8 %;
- кукурузы на зерно: 12,5-13,7 %;

– подсолнечника: 5,6-10,3 %.

9. Доля почвенного плодородия в формировании урожайности, судя по эффективности использования азота из минеральных удобрений, составляет от 70 до 94 %.

10. Несмотря на превышение вынесенного количества азота урожаями культур севооборота вносимым количеством азота с минеральными удобрениями, общие потери азота почвы значительны, что ведёт к деградации почв под воздействием отдельного внесения минеральных удобрений.

11. Проблема рационального менеджмента органического вещества почвы, как интегрального показателя почвенного плодородия, является краеугольной в достижении устойчивого развития современного земледелия.

Литература

1. Доспехов Б.А., Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985, 351 с.

2. Boincean, B., Dent, D. Farming the Black Earth. Sustainable and Climate – Smart Management of Chernozems. Springer: Nature Switherlands AG, 2019, 226 p.

3. Boincean B.P., Nica L.T., Stadnic S. S. Productivity and fertility of the Balti Chernozem under crop rotation with different systems of fertilization. In: Soil as World Heritage, Springer, 2013, pp. 209-232.

4. Boincean, B., Nica, L., Stadnic, S., Bulat, L. Fertilitatea şi fertilizarea cernoziomului tipic din stepa Bălțului. In: Akademos. Revista de Ştiință, Inovare, Cultură şi Artă, 2011, nr. 1 (20), pp. 110-121.

5. Stadnic, S., Boincean, B. Eficacitatea folosirii diferitor sisteme de fertilizare în asolament. In: Tradiție şi inovare în cercetarea ştiințifică, Ediția a 7-a: Materialele Colloquia Professorum din 12 octombrie 2017, Bălți: Centrul editorial universitar, 2018. pp. 117-124.

PRODUCTIVITY AND FERTILITY OF CHERNOZEM SOILS IN MOLDOVA UNDER LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS

***BoinceanB.P.*[1,2]*., Stadnic S.S.*[2]**

[1]RIFC "Selectia", m. Balti, Republic of Moldova, bboincean@gmail.com

[2]Alecu Russo Balti State University, Republic of Moldova, stadnicst@gmail.com

Annotation. The results of long-term use of various fertilization systems in a six-field stationary crop rotation on a typical chernozem soil of the Balti steppe, Republic of Moldova demonstrate the stabilization of yield after the initial growth and a further downward trend over the past 20 years. The share of soil fertility in the formation of crop yields and crop rotation productivity, varies between 70-76%. The mineral system of fertilization cannot compensate the increased mineralization losses of soil organic matter. The problem of sustainable and resilient management of soil organic matter, as an integral indicator of soil fertility, is the cornerstone in achieving sustainable development of modern agriculture.

Keywords: The system of fertilization, manure, soil fertility, productivity, soil, soil organic matter, azot.

УДК 631.8(470.4/.5)

ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В СРЕДНЕМ ПРЕДУРАЛЬЕ

Т.Ю. Бортник, В.И. Макаров, А.Ю. Карпова, А.С. Башков
ФГБОУ ВО Ижевская государственная
сельскохозяйственная академия, Ижевск, РФ
e-mail: agrohim@izhgsha.ru

Аннотация. В статье представлено обобщение результатов длительного полевого опыта по изучению влияния различных систем удобрения на продуктивность картофеля за 1981-2015 годы. В длительном опыте, заложенном в 1979 г. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, сравнивается действие различных сочетаний органических, минеральных удобрений и извести. Агроклиматические условия за годы проведения исследований значительно различались, ГТК колебался в пределах от 0,37 в 1981 г. до 2,06 в 1993 г. Расчёты показали, что влияние различных систем удобрения на продуктивность картофеля напрямую зависит от количества выпавших осадков, r=0,58±0,05. Общий уровень продуктивности картофеля и эффективность удобрений зависит от агроклиматических условий.

Ключевые слова: длительный опыт; системы удобрения; продуктивность; картофель; агроклиматические условия.

Введение. На территории Среднего Предуралья преобладают дерново-подзолистые почвы, которые в естественном состоянии характеризуются неблагоприятными агрохимическими показателями. При сельскохозяйственном использовании этих почв применение систем удобрения играет важную роль в повышении их продуктивности и в воспроизводстве почвенного плодородия [2, 7, 15].

Многими исследованиями было отмечено, что эффективность систематического воздействия удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур, а также на плодородие дерново-подзолистых почв в значительной степени зависит от агроклиматических условий [6, 8, 14]. По данным современных учёных [1-4; 7, 15], органоминеральные системы удобрения способствуют получению высокой и стабильной урожайности, а также поддержанию бездефицитного баланса гумуса и элементов питания в севооборотах, поэтому являются наиболее рациональными в использовании.

В условиях длительных полевых опытов с минеральными и органическими видами удобрений возможно выявить эффективность применения органических и минеральных удобрений, а также известковых мелиорантов, и установить влияние агроклиматических условий на систему «сельскохозяйственные растения – почва – удобрения» [12, 13, 16, 19, 20].

В Среднем Предуралье картофель является важной культурой сельскохозяйственного производства. Результаты ряда исследований [5, 10, 11, 17, 18] показали, что картофель очень отзывчив на внесение различных видов удобрений, прибавка урожайности при совместном внесении органических и минеральных удобрений достигает 50 %. При этом в разные годы отзывчивость картофеля на удобрения колеблется в зависимости от агроклиматических условий. Картофель оказывает сильное влияние на почву, так как выносит с урожаем большое количество элементов питания. Таким образом, изучение влияния длительного применения различных систем удобрения на продуктивность картофеля и плодородие дерново-среднеподзолистых почв по агрохимическим показателям в условиях Среднего Предуралья является актуальным.

Материалы и методы. Эффективность различных систем удобрений изучалась в условиях длительного опыта, который был заложен в 1979 г. на опытном поле ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (с. Июльское Воткинского района Удмуртской Республики Российской Федерации) и продолжается в настоящее время. Исследования

проводились в четырехпольном полевом зернопаропропашном севообороте (занятый пар – озимые зерновые – пропашные – ячмень). В опыте изучается 17 вариантов различных сочетаний и соотношений удобрений на фоне известкования и без него [2, 3]. Полные дозы минеральных удобрений определены с учётом биологических особенностей культур. Органические удобрения (подстилочный навоз) вносили в севообороте под пропашные культуры, известкование по полной гидролитической кислотности проводили один раз за две ротации севооборота. Опыт заложен в четырехкратной повторности, размещение делянок в повторениях рендомизированное. Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на красно-буром опесчаненном суглинке. При закладке опыта почва была слабокислая (pH_{KCl} = 5,20) со средним содержанием гумуса (1,93 %), низким содержанием подвижных форм фосфора (69 мг/кг) и калия (91 мг/кг) по Кирсанову [2, 3].

Для оценки влияния систем удобрения на продуктивность картофеля из полной схемы опыта были выбраны 6 вариантов, включающих различные сочетания минеральных удобрений и навоза с насыщенностью 10 т/га на фоне извести и без неё. Средняя ежегодная доза минеральных удобрений при возделывании картофеля составила $N_{87}P_{70}K_{105}$. Урожайность клубней пересчитана в зерновые единицы. Математическая обработка результатов выполнена корреляционно- регрессионным и вариационным методами.

Результаты исследований. Территория Удмуртской Республики относится к умеренно-холодному климатическому поясу. Продолжительность вегетационного периода с температурой воздуха более 10 ^{o}C составляет около 125 суток при сумме активных температур 1900-2100°. Суммарное количество атмосферных осадков по климатической норме составляет 475-490 мм/год. Таким образом, агроклиматические ресурсы Удмуртии благоприятны для выращивания сельскохозяйственных культур, предусмотренных зональными системами земледелия [8]. В зависимости от сортовых

характеристик потребность картофеля в тепле составляет 1300-1900° [9].

Агрометеорологические условия вегетационных периодов картофеля в годы проведения исследований значительно отличались от климатической нормы (табл. 1).

1. Агрометеорологические условия вегетационных периодов картофеля (20 мая – 31 августа), Удмуртская Республика, 1981-2015 гг.

Агроклиматический показатель	Год исследования						M ± Δm	V, %
	1981	1985	1989	1993	2007	2015		
Среднесуточная температура воздуха, °С	18,0	14,9	17,4	15,7	16,2	15,9	16,4 ±1,0	5,9
Сумма температур более 10 °С, °	2028	1560	1805	1574	1730	1656	1726 ±168	9,3
Осадки, мм	76	234	207	325	214	288	224 ±82	34,9
ГТК	0,37	1,50	1,14	2,06	1,24	1,74	1,34 ±0,56	39,6

Примечание. M ± Δm: среднее и доверительный интервал, *P = 0,05, V – коэффициент вариации, %.*

Среднесуточная температура воздуха за период активной вегетации растений варьировала от 14,9 до 18,0 °С. При этом обеспеченность растений влагой в виде атмосферных осадков отличалась от 76 мм в 1981 г. до 325 мм – в 2007 г. (V = 34,9 %). Гидротермические коэффициенты (ГТК) за вегетационные периоды отличались в отдельные годы от «сухого» (1981 г.) до «избыточно увлажненного» состояния (1993 и 2015 гг.) по классификации Г.Т. Селянинова [9]. Коэффициент вариации по данному показателю составил 39,6, что свидетельствует о значительном влиянии гидротермических условий на рост и развитие картофеля, а также эффективности удобрений в отдельные годы.

Агрометеорологические условия существенно повлияли на продуктивность картофеля (табл. 2).

Установлено, что в условиях недостаточно урегулированного питания растений наблюдается сильная нестабильность урожаев картофеля по годам – коэффициенты вариации в вариантах без

применения удобрений составили 42,8-44,5 %. Применение минеральных и органических удобрений позволяет не только существенно повысить урожайность клубней картофеля, но и улучшить устойчивость производства продукции по годам. Наиболее эффективной является органоминеральная система удобрения, которая обеспечила за шесть ротаций севооборота продуктивность картофеля 4,33 тыс. зерн. ед./га при коэффициенте вариации 34,8 %.

2. Влияние систем удобрений на продуктивность картофеля, Удмуртская Республика, 1981-2015 гг.

Вариант	Продуктивность по годам исследования т зерн.ед./га						M±Δm т зерн.ед./га	V, %
	1981	1985	1989	1993	2007	2015		
1. Без удобрений (к)	1,38	1,03	2,88	3,13	0,85	2,27	1,92±0,86	42,8
2. Известь по 1Нг	1,43	1,52	3,08	3,70	0,96	2,38	2,18±1,02	44,5
3. $N_1P_1K_1$	2,60	2,47	4,63	6,55	2,47	3,38	3,68±1,56	40,5
4. Известь + $N_1P_1K_1$	2,45	2,55	5,03	6,43	2,80	3,53	3,80±1,54	38,6
5. Известь +навоз 40 т/га	2,35	2,53	4,50	6,15	2,30	3,33	3,53±1,47	39,7
6. Известь + навоз 40 т/га + $N_1P_1K_1$	3,15	2,95	5,73	7,00	3,41	3,73	4,33±1,58	34,8
Среднее	*2,23*	*2,18*	*4,31*	*5,49*	*2,13*	*3,10*	*3,24 ±1,33*	*39,0*
$НСР_{05}$	0,30	0,51	0,83	1,16	0,45	0,35		

Агрометеорологические условия оказали влияние на эффективность удобрений (табл. 3).

Наибольшие прибавки от удобрений по отношению к контролю без удобрений были получены при ГТК вегетационного периода в пределах 1,24-1,50. Органоминеральная система удобрения (Известь + навоз 40 т/га + $N_1P_1K_1$) в оптимальных условиях обеспечила прибавку урожайности клубней картофеля к неудобренному фону 171 %. Применение минеральных удобрений также являлось эффективным агроприёмом в регулировании питания картофеля. Однако органическая система удобрения на фоне извести не способствовала значительному увеличению урожайности; наименьшие прибавки получены при применении подстилочного навоза в дозе 40 т/га.

3. Влияние систем удобрений на прибавки продуктивности картофеля в зависимости от гидротермических условий, % к контролю без удобрений Удмуртская Республика, 1981-2015 гг.

Вариант	Прибавки продуктивности при гидротермических условиях				
	оптимальные	недостаточные		избыточные	
	ГТК = 1,24-1,50 (к)	ГТК = 0,37-1,14	± к контролю опт. ГТК	ГТК = 1,74-2,06	± к контролю опт. ГТК
2 Известь по 1Нг	30,3	5,3	25,0	11,5	18,8
3 $N_1P_1K_1$	141,4	74,6	66,8	79,1	62,3
4 Известь + $N_1P_1K_1$	118,6	76,1	42,5	80,5	38,1
5 Известь +навоз 40 т/га	84,3	63,3	21,0	71,6	12,7
6 Известь + навоз 40 т/га + $N_1P_1K_1$	171,0	113,6	57,4	94,0	77,0

Изменение гидротермических условий питания растений в сторону недостатка или избытка увлажнения приводит к снижению прибавок от удобрений по сравнению с оптимальным состоянием (контроль), при этом наиболее стабильные прибавки получены при использовании минеральной и органоминеральной систем удобрения.

На основе корреляционно-регрессионного анализа установлена связь агрометеорологических условий вегетационных периодов с продуктивностью картофеля (табл. 4). Установлено, что между среднесуточной температурой воздуха и продуктивностью картофеля наблюдается нелинейная связь – расхождения значений коэффициентов корреляции и корреляционных отношений составляют в среднем 0,32. Теплообеспеченность вегетационных периодов по сумме активных температур преимущественно имеет обратную связь с продуктивностью изучаемой культуры.

Наиболее высокие коэффициенты корреляции продуктивности установлены с количеством атмосферных осадков, выпавших за вегетационные периоды ($r = 0,58 \pm 0,05$; $\eta = 0,69 \pm 0,05$). Связь прямая, близка к линейной.

4. Связь продуктивности картофеля с агроклиматическими показателями (вегетационный период 20 май – 31 август), Удмуртская Республика, 1981-2015 гг.

Вариант	Среднесуточная температура воздуха, °С		Сумма температур более 10 °С, °		Осадки, мм		ГТК	
	r	η	r	η	r	η	r	η
1. Без удобрений (к)	-0,11	0,41	-0,18	0,24	0,50	0,62	0,46	0,57
2. Известь по 1. Нг	-0,04	0,31	-0,32	0,32	0,59	0,69	0,56	0,66
3. $N_1P_1K_1$	-0,06	0,45	-0,35	0,37	0,62	0,70	0,59	0,67
4. Известь + $N_1P_1K_1$	-0,06	0,38	-0,33	0,33	0,59	0,74	0,57	0,72
5. Известь + навоз 40 т/га	-0,10	0,38	-0,38	0,38	0,63	0,74	0,61	0,72
6. Известь + навоз 40 т/га + $N_1P_1K_1$	-0,02	0,43	-0,27	0,30	0,53	0,62	0,50	0,60
Среднее, M ± Δm	*-0,07 ± 0,03*	*0,39 ± 0,05*	*-0,31 ± 0,07*	*0,32 ± 0,05*	*0,58 ± 0,05*	*0,69 ± 0,05*	*0,55 ± 0,05*	*0,66 ± 0,05*

Заключение. В результате обобщения данных, полученных в шести ротациях длительного полевого опыта, можно сделать следующие выводы.

1. Системы применения удобрений определяют уровень продуктивности картофеля и способствуют получению существенных прибавок относительно контроля без удобрений. Наиболее благоприятно на продуктивность данной культуры влияла органоминеральная система удобрения на фоне систематического известкования; в этом варианте прибавки по отношению к контролю составили в разные годы 1,46-3,87 т зерн.ед./га. Средняя продуктивность картофеля в варианте Известь + навоз 40 т/га + $N_{87}P_{70}K_{105}$ составила 4,33 тыс. зерн. ед./га при коэффициенте вариации 34,8 %.

2. Агрометеорологические условия вегетационных периодов в значительной степени определяют уровень продуктивности картофеля и эффективность используемых систем удобрения. Выявлена

обратная связь теплообеспеченности по сумме активных температур с продуктивностью изучаемой культуры. В то же время установлена прямая, близкая к линейной связь продуктивности картофеля с количеством атмосферных осадков ($r = 0,58 \pm 0,05$; $\eta = 0,69 \pm 0,05$).

Литература

1. Башков, А.С. Действие удобрений на окультуривание подпахотного слоя дерново-подзолистой суглинистой почвы и его влияние на продуктивность озимой ржи / А.С. Башков, Т.Ю. Бортник, М.Н. Загребина, А.Ю. Карпова // Плодородие. 2013. – № 2(71). – С. 22-24.

2. Башков, А.С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья: монография. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 328 с.

3. Бортник, Т.Ю. Агрохимические основы воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв и повышения продуктивности агроценозов в Вятско-Камской земледельческой провинции : спец. 06.01.04 «Агрохимия» : автореф. дис. … д-ра с.-х. наук / Бортник Татьяна Юрьевна. – Москва, 2019. – 42 с.

4. Бортник, Т.Ю. Продуктивность ячменя и изменение агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы в длительном полевом опыте в условиях Вятско-Камской земледельческой провинции / Т.Ю. Бортник, В.И. Макаров, А.С. Башков, А.Ю. Карпова // Цифровые технологии в управлении и оценке земельных ресурсов: новые подходы и инновационные решения / Сб. научн. тр. по матер. Российско-Узбекского научно-практич. семинара, 17-19.12.2020 // Узбекистан, Бухара: БухГУ, 2020. С. 14-17.

5. Ермакова, Л.И. Продуктивность картофеля в полевом севообороте при использовании различных систем удобрения / Л.И. Ермакова // Владимирский земледелец. 2018. – № 1(83). – С. 24-26.

6. Завьялова, Н.Е. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна озимой ржи в условиях Предуралья / Н.Е. Завьялова, Д.Г. Шишков, О.В. Иванова // Плодородие. 2020. – № 2(113). – С. 23-26.

7. Лукин, С.М. Сравнительная эффективность различных систем удобрения при длительном их применении в севооборотах /С.М. Лукин, Г.Е. Мерзлая // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 42-47.

8. Макаров, В.И. Агроклиматические ресурсы Удмуртии и их связь с урожайностью зерновых культур (на примере Ижевской ГМС) / В.И. Макаров // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. – Т. 26. – № 3. – С. 112-121.

9. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова. – М.: ФГНУ Росинформагротех. 2003. – 240 с.

10. Молявко, А.А. Продуктивность и энергетическая эффективность различных сортов картофеля в зависимости от систем удобрений / А.А. Молявко, А.В. Марухленко, Н.П. Борисова, В.Н. Зейрук, Г.Л. Белов // Агрохимический вестник. 2021. – №3. – С. 27-30.

11. Молявко, А.А. Удобрение картофеля в севооборотах / А.А. Молявко, А.В. Марухленко, Л.А. Еренкова, Н.П. Борисова // Плодородие. 2018. – №4. – С. 8-12.

12. Романенков, В.А. Исследование эффективности управления плодородием в агроэкосистемах на основе изучения рядов урожайности в длительных полевых опытах / В.А. Романенков // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2015. – Том XXVI. – № 2. – С. 97-114.

13. Сычев, В.Г. Результаты мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности севооборотов и изменения свойств почв в длительных опытах Географической сети / В.Г. Сычев, М.В. Беличенко, В.А. Романенков // Плодородие. 2017. – № 6 (99). – С. 2-5.

14. Сычев, В.Г. Эффективность известкования в связи с агрохимическими свойствами дерново-подзолистых суглинистых почв Центрального Нечерноземья / В.Г. Сычев, Н.А. Кирпичников. – М.: ВНИИА, 2016. – 104 с.

15. Титова, В.И. Особенности системы применения удобрений в современных условиях / В.И. Титова // Агрохимический вестник. – 2016. – № 1. – С. 2-7.

16. Чухина, О.В. Влияние различных доз удобрений и гербицидов на продуктивность культур севооборота / О.В. Чухина, А.И Демидова, Е.И. Куликова, Н.В. Токарева // Плодородие. 2017. – №3. – С. 5-10.

17. Шафран, С.А. Динамика содержания питательных веществ в дерново-подзолистых почвах в длительных полевых опытах / С.А. Шафран, А.А. Ермаков, А.И. Семенова, Т.А. Яковлева // Плодородие. 2020. – № 4(115). – С. 7-9.

18. Якименко, В.Н. Потребление калия и магния картофелем и изменение их содержания в почве полевого опыта / В.Н. Якименко // Плодородие. 2018 – №5. – С. 19-22.

19. Mattsson, L. Overview of Swedish long-term field experiments // Success Stories of Agricultural Long-term Experiments. – 2007. – №9. – Pg. 36-40.

20. Maussumbayeva, A.M. Mineral fertilizers and soil properties in agriculture / A.M. Maussumbayeva, B.K. Oxikbayev, S.Z. Daurenbekova // Eurasian Scientific Association, 2021. – 4(74). – p. 103-106.

Бортник Татьяна Юрьевна, Макаров Вячеслав Иванович,
Карпова Алина Юрьевна, Башков Александр Степанович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»
e-mail: agrohim@izhgsha.ru
426033, г. Ижевск, Удмуртская Республика, ул. Кирова, д. 16, к. 410
Тел.: 8 9512113472 (Бортник Т.Ю.); 8 (3412) 73-30-77
(кафедра агрохимии, почвоведения и химии)

PRODUCTIVITY OF POTATO WITH LONG-TERM USE OF FERTILIZATION SYSTEMS IN THE MIDDLE CIS-URALS

Bortnik Tatiana Yurievna, Makarov Vyacheslav Ivanovich, Karpova Alina Yurievna, Bashkov Alexander Stepanovich
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «The Izhevsk State Agricultural Academy» e-mail: agrohim@izhgsha.ru
426033, Izhevsk, Udmurt Republic, Kirova street, 16, cab. 410
Tel.: 8 9512113472 (Bortnik T.Yu.); 8 (3412) 73-30-77 (Department of Agrochemistry, Soil Science and Chemistry)

Annotation. The article presents a generalization of the results of a long field experiment to study the effect of various fertilization systems on potato productivity for 1981-2015. In a long-term experiment, laid down in 1979 on sod-podzolic medium loamy soil, the effect of various combinations of organic, mineral fertilizers and lime is compared. Agroclimatic conditions over the years of the study varied significantly, the hydrothermal coefficient ranged from 0.37 in 1981 to 2.06 in 1993. Calculations have shown that the effect of various fertilization systems on potato productivity directly depends on the amount of precipitation, r=0.58±0.05. The general level of potato productivity and the effectiveness of fertilizers depends on the agro-climatic conditions.

Key words: long-term experiment; fertilization systems; productivity; potato; agroclimatic conditions.

УДК 631.4: 004.67: 004.8

КЛАССИФИКАЦИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВ РОССИИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕВЫХ СТРУКТУР ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Н.И. Воробьев[1], С.С. Ладан[2], Я.В. Пухальский[1], В.Н. Пищик[1,3]

[1] ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Nik.Vorobyov@yandex.ru, puhalskyyan@gmail.com

[2] ФГБНУ ВНИИА, Москва, s.ladan@bk.ru

[3]ФГБНУ АФИ, Санткт-Петербург, veronika-bio@rambler.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность использования нейронных сетевых структур системы искусственного интеллекта для классификации сельскохозяйственных полей. В качестве примера в работе приводится четырехслойный персептрон, в котором реализуется преобразование исходной информации в ассоциативную классификационную информацию. Для этого профили содержания гумуса в почвах преобразуются в кластерном анализе в дендрограммы группировки федеральных округов Российской Федерации. По результатам проведенного анализа делаются выводы относительно причин формирования гумусового фона в залежах и пашнях аграрных полей.

Ключевые слова: статистический профиль пространственного распределения гумуса в почвах залежей и пашен РФ; дендрограмма группировки полей регионов РФ; персептрон.

Стохастический профиль пространственного распределения агрохимических характеристик

Почвы сельскохозяйственного назначения могут быть представлены стохастическими профилями пространственного распределения (СППР) агрохимических характеристик (гумуса, pH и д.р.) [1-3]. Например, СППР гумуса в залежных и пахотных почвах федеральных округов РФ могут быть представлены процентами пло-

щадей сельскохозяйственных угодий, соответствующих интервальным классам значений содержания гумуса в почвах (табл. 1).

1. Стохастические профили пространственного распределения (СППР) гумуса, представляющих распределение площадей (% от общей площади залежей и пашен в регионах РФ), соответствующих 10 интервальным классам значений содержания гумуса в почвах (весовые %)

Федеральный округ РФ		Интервальные классы значений содержания гумуса в почвах									
		0…1	1…1,5	1,5…2	2…2,5	2,5…3	3…4	4…6	6…8	8…10	10…
Залежь											
1	Центральный	0	9,13	24,47	21,09	14,53	14,02	16,27	0,33	0,16	0
2	Северо-Западный	2,7	8,26	10,94	16,21	13,41	36,96	11,52	0	0	0
3	Южный	0	19,85	14,42	7,07	14,57	44,09	0	0	0	0
4	Приволжский	0	0	0	0	0,43	0,52	19,13	48,42	31,13	0,37
5	Уральский	0,06	0,03	0,58	0,23	8,77	8,91	67,81	12,94	0,43	0,24
6	Сибирский	1,07	16,68	17,87	8,96	11,95	15,8	25,21	2,46	0	0
7	Дальневосточный	0,98	1,06	0,96	5,84	17,26	18,25	47,1	6,11	1,55	0,89
Пашня											
8	Центральный	0,25	4,19	9,39	10,38	9,79	11,75	38,22	15,64	0,28	0,11
9	Северо-Западный	0,83	3,21	10,17	21,96	18,03	24,12	15,41	5,03	0,71	0,53
10	Южный	2,98	5,44	10,91	8,72	11,48	35,97	21,13	3,37	0	0
11	Приволжский	1,35	5,14	9,85	9,13	8,94	16,17	26,72	16,52	5,32	0,86
12	Уральский	0,08	0,17	0,91	1,23	3,31	9,92	53,46	24,2	5,54	1,18
13	Сибирский	0,25	2,23	3,74	3,63	4,78	15,09	31,31	27,26	9,34	2,37
14	Дальневосточный	0	0,02	5,88	5,41	8,44	27,13	36,54	10,19	4,1	2,29

СППР гумуса (табл. 1) можно аппроксимировать функцией распределения случайной величины Гаусса p=Gauss(g), где р – доля площадей, соответствующая интервальному объединенному классу с нижней нулевой границей содержания гумуса (g=0) и с верхней границей (g>0) [4]. Для аппроксимации СППР гумуса функцией Гаусса необходимо преобразовать таблицу 1 в таблицу 2.

2. СППР гумуса, представляющих распределение площадей (% от общей площади залежей и пашен в регионах РФ), соответствующих 10 объединенным интервальным классам значений содержания гумуса в почвах (весовые %), в которых нижняя граница равна нулю содержания гумуса, а верхняя граница - верхней границе соответствующего интервального класса (табл. 1).

Федеральный округ РФ		Верхние границы объединенных интервальных классов значений содержания гумуса в почвах (нижняя граница каждого объединенного интервального класса равна нулю).									
		1	1,5	2	2,5	3	4	6	8	10	любое
Залежь											
1	Центральный	0	9,13	33,6	54,69	69,22	83,24	99,51	99,84	100	100
2	Северо-Западный	2,7	10,96	21,9	38,11	51,52	88,48	100	100	100	100
3	Южный	0	19,85	34,27	41,34	55,91	100	100	100	100	100
4	Приволжский	0	0	0	0	0,43	0,95	20,08	68,5	99,63	100
5	Уральский	0,06	0,09	0,67	0,9	9,67	18,58	86,39	99,33	99,76	100
6	Сибирский	1,07	17,75	35,62	44,58	56,53	72,33	97,54	100	100	100
7	Дальневосточный	0,98	2,04	3	8,84	26,1	44,35	91,45	97,56	99,11	100
Пашня											
8	Центральный	0,25	4,44	13,83	24,21	34	45,75	83,97	99,61	99,89	100
9	Северо-Западный	0,83	4,04	14,21	36,17	54,2	78,32	93,73	98,76	99,47	100
10	Южный	2,98	8,42	19,33	28,05	39,53	75,5	96,63	100	100	100
11	Приволжский	1,35	6,49	16,34	25,47	34,41	50,58	77,3	93,82	99,14	100
12	Уральский	0,08	0,25	1,16	2,39	5,7	15,62	69,08	93,28	98,82	100
13	Сибирский	0,25	2,48	6,22	9,85	14,63	29,72	61,03	88,29	97,63	100
14	Дальневосточный	0	0,02	5,9	11,31	19,75	46,88	83,42	93,61	97,71	100

При формировании таблицы 2 учитывалось, что нижняя граница каждого объединенного интервального класса равна нулю содержания гумуса, а их верхняя граница может меняться в соответствии с изменением верхней границы каждого из 10 исходных интервальных классов. Например, значение площадей залежей, соответствующих Центральному ФО и объединенному интервальному классу с верхней границей содержания гумуса 2,5%, равняется сумме значений площадей: 0% + 9,13% + 24,47% + 21,09% =54,69% (табл. 1, 2). По данным таблицы 2 можно построить кусочно-линейную функцию, представляющую зависимость размера полей

от верхней границы содержания гумуса в почвах интервальных объединенных классов. В результате получаем кусочно-линейную интерпретацию функции Гаусса (рис. 1).

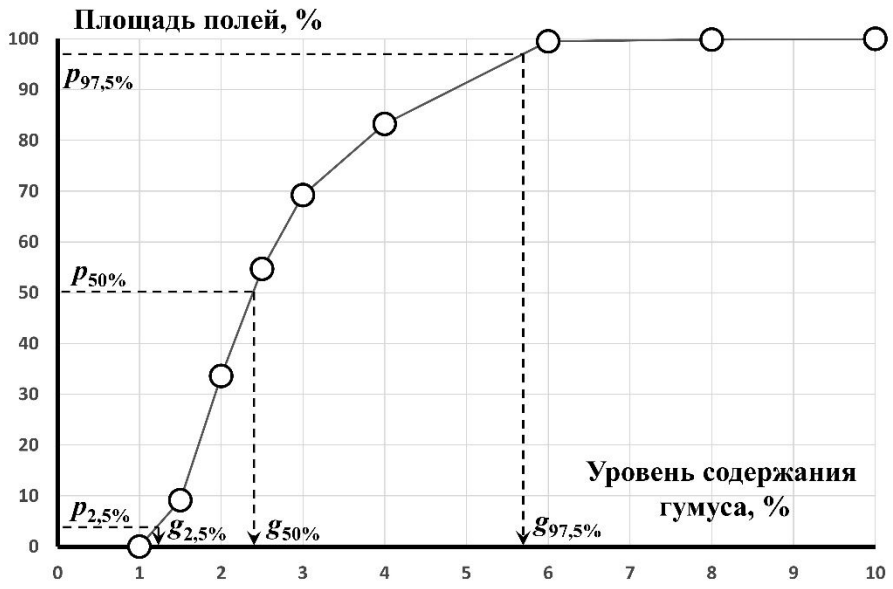

Рис. 1. Кусочно-линейная функция.

Площадь $p_{50\%}$ соответствует содержанию гумуса $g_{50\%}$=2,39% и математическому ожиданию функции Гаусса (M=2,39%). Площади $p_{2,5\%}$ и $p_{97,5\%}$ соответствуют содержанию гумуса $g_{2,5\%}$ и $g_{97,5\%}$. Разница этих количеств гумуса является доверительным интервалом функции Гаусса (V=5,75% - 1,14% = 4,61%).

Учитывая данные таблицы 2, были определены параметры функции Гаусса для ФО РФ (табл. 3).

Нейронная сетевая структура системы искусственного интеллекта для классификации сельскохозяйственных полей по агрохимическим характеристикам

Для классификации аграрных территорий по агрохимическим характеристикам почв и регистрации тенденций к изменению их значений со временем можно использовать нейронные сетевые структуры системы искусственного интеллекта [5-8]. Например, в качестве нейронной сетевой структуры можно использовать многослойный персептрон [9, 10] (рис. 2), который реализует последовательное преобразование исходной информации в новую качественную научную информацию. В персептроне осуществляется преобразование данных СППР гумуса (см. табл. 1) в ассоциативную инфор-

мацию, используя вычислительные процедуры кластерного анализа [11-13].

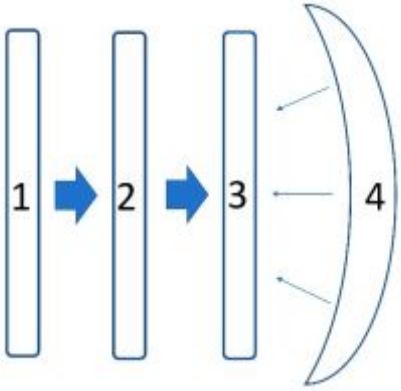

Рис. 2. Структура четырехслойного персептрона нейронной сетевой структуры системы искусственного интеллекта:
1 – слой исходной информации (СППР гумуса в ФО РФ, табл. 1).
2 – слой вторичной информации (M, V функции Гаусса, табл. 3).
3 – слой третичной информации (кластеризация ФО РФ по содержанию гумуса в почвах, рис. 3).
4 – слой ассоциативной информации, характеризующей объективные причины и условия, определившие данную кластеризацию ФО РФ

3. Математическое ожидание ($M=g_{50\%}$) и доверительный интервал ($V=g_{97,5\%}-g_{2,5\%}$) функции Гаусса, описывающей СППР гумуса (%) в залежах и пашнях ФО РФ

Федеральный округ РФ		$M=g_{50\%}$	$g_{97,5\%}$	$g_{2,5\%}$	$V=g_{97,5\%}-g_{2,5\%}$
		Залежь			
1	Центральный	2,39	5,75	1,14	4,61
2	Северо-Западный	2,94	5,57	0,92	4,65
3	Южный	2,80	3,94	1,06	2,88
4	Приволжский	7,24	9,86	4,16	5,70
5	Уральский	4,93	6,19	2,59	3,60
6	Сибирский	2,73	6,00	1,04	4,96
7	Дальневосточный	4,25	7,98	1,74	6,24
		Пашня			
8	Центральный	6,11	7,87	1,54	6,93
9	Северо-Западный	4,77	7,75	1,52	6,23
10	Южный	5,29	7,26	0,84	6,42
11	Приволжский	5,98	8,69	1,22	7,47
12	Уральский	6,64	8,76	4,04	4,72
13	Сибирский	6,65	8,99	2,00	6,98
14	Дальневосточный	6,09	8,95	2,42	6,53

При кластерном анализе значения таблицы 3 преобразуются в квадратную матрицу парных Евклидовых дистанций (D) между СППР гумуса между ФО РФ. При этом, дистанция D в двумерном пространстве {M, V} рассчитывалась по следующей формуле.

$$D_{1,4}=\sqrt{(M_1\text{-}M_4)^2+(V_1\text{-}V_4)^2}=\sqrt{(2{,}39\text{-}7{,}24)^2+(4{,}61\text{-}5{,}70)^2}=4{,}97, \qquad (1)$$

где M_1 и M_4 – математические ожидания; V_1 и V_4 – доверительные интервалы функции Гаусса для СППР гумуса в залежах Центрального и Приволжского ФО РФ (см. табл. 3).

Используя данные матрицы парных дистанций между ФО РФ и алгоритм кластеризации «дальний сосед» [14], можно построить дендрограммы группировки ФО РФ (рис. 3) по содержанию гумуса в почвах залежей и пашен.

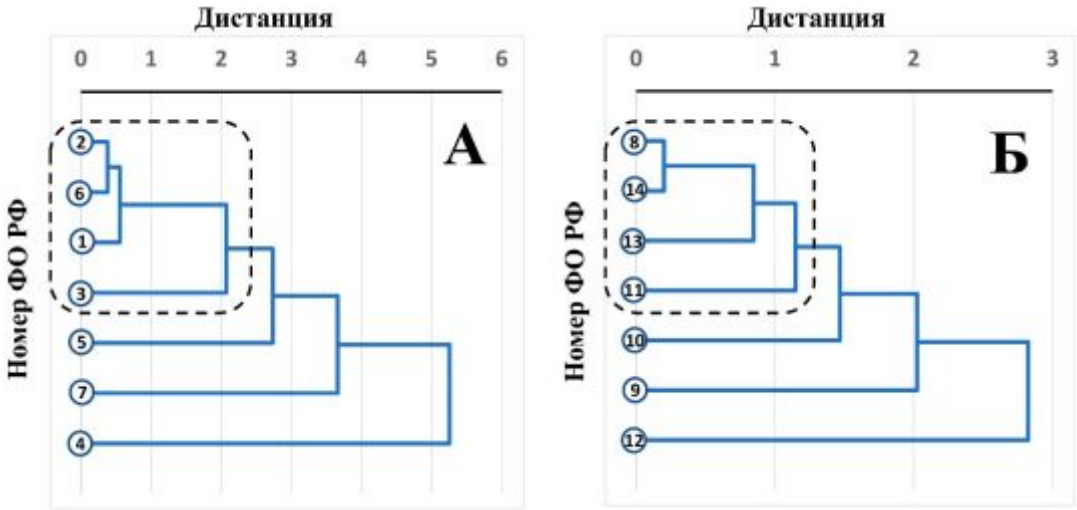

Рис. 3. Дендрограммы кластеризации ФО РФ по содержанию гумуса в почвах:
А – для СППР гумуса в залежах ФО РФ.
Б – для СППР гумуса пашнях ФО РФ. Цифры в кружках соответствуют нумерации ФО РФ, представленной в таблице 3. Пунктиром выделены ФО РФ, которые объединились в кластеры

Выводы (ассоциативная информация 4 слоя персептрона).

1. На основании проведенного кластерного анализа можно утверждать, что объединение залежей Центрального (1), Северо-Западного (2), Южного (3) и Уральского (6) ФО РФ является следствием сходных погодно-климатических условий данных регионов.

2. На основании проведенного кластерного анализа можно утверждать, что объединение пашен Центрального (1), Приволжского

(11), Сибирского (13) и Дальневосточного (14) ФО РФ является следствием сходной хозяйственной деятельности на данных территориях.

Таким образом, классификация сельскохозяйственных полей по СППР агрохимических данных с использованием нейронных сетевых структур системы искусственного интеллекта позволяет определять ограничения по выращиванию различных сельскохозяйственных культур в ФО РФ и планировать наиболее эффективное использование аграрных территорий.

Литература

1. Воробьева Л.А. Химический анализ почв: Учебник / М.: Изд-во МГУ, 1998. - 272 с.

2. Воробьева Л.А., Ладонин Д.В., Лопухина О.В., Рудакова Т.А., Кирюшин А.В. Химический анализ почв. Вопросы и ответы / М.: Изд-во МГУ, 2012. - 186 с.

3. Химический анализ почвы. Руководство по применению почвенных лабораторий и тест-комплектов / Под ред. к.х.н. А.Г. Муравьёва // СПб.: «Крисмас+», 2014. - 120 с.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / М.: Высш. шк., 2006. - 575 с.

5. Боровская Е.В., Давыдова Н.А. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие - М.: Лаборатория знаний, 2020. 130 с.

6. Вакуленко С.А., Жихарева А.А. Практический курс по нейронным сетям. - СПб: Университет ИТМО, 2018. 71 с.

7. Головко В.А., Краснопрошин В.В. Нейросетевые технологии обработки данных: учеб. пособие / Минск: БГУ, 2017. - 263 с.

8. Иванов А.И. Многомерная нейросетевая обработка биометрических данных с программным воспроизведением эффектов квантовой суперпозиции. - Пенза: Изд-во ОА «ПНИЭИ», 2016. - 133 с.

9. Солдатова О.П. Нейроинформатика: учебное пособие. - Самара: СГАУ, 2013. - С. 130.

10. Минский М., Пейперт С. Персептроны / М.: Изд-во «Мир», 1971. - 264 с.

11. Скачкова С.А., Харитонова А.Е. Кластерный анализ качества почв Российской Федерации / Сб. конф. «Статистические и системно-параметрические исследования». - Курск. 27.04.2016 // Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. - С. 186-188.

12. Обух Д.Ю., Карпиченко А.А. Кластерный анализ распределения тяжелых металлов в почвах г. Пинска / Сб. конф. «Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование». - Минск, 20–23.09.2018 // Минск: БГУ. 2018. - С. 271-276.

13. Мыслыва Т.Н., Кожеко А.В., Куцаева О.А. Особенности установления зон пространственной неоднородности в пределах землепользования для целей точного земледелия // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - №1. - С. 192-199.

14. Мандель И.Д. Кластерный анализ. - М.:Финансы и статистика,1988. - 176 с.

THE CLASSIFICATION OF AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF RUSSIAN SOILS USING NEURAL NETWORK STRUCTURES OF ARTIFICIAL INTELLEGENCE SYSTEM

Vorobyov N.I. [1]***, Ladan S.S.*** [2]***, Pykhalsky Ya.V.*** [1]***, PishchikV.N.*** [1,3]

[1] All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Nik.Vorobyov@yandex.ru, puhalskyyan@gmail.com

[2] All-Russian Research Institute for Agrochemistry, Moscow, s.ladan@bk.ru

[3]Agrophysics Research Institute, Saint-Petersburg, veronika-bio@rambler.ru

Annotation. The article discusses the possibility of using neural network structures of an artificial intelligence system for the classification of agricultural fields. As an example, the work provides a four-layer perceptron, which implements the transformation of the initial information into associative classification information. For this, the profiles of humus content in soils are converted in cluster analysis into dendrograms of the grouping of federal districts of the Russian Federation. Based on the results of the analysis, conclusions are drawn regarding the reasons for the formation of the humus background in the fallows and arable soils of agricultural fields.

Keywords: statistical profile of the spatial distribution of humus in fallows and arable soils of the Russian Federation; dendrogram of the grouping of Russian Federation regions; perceptron.

УДК 631.8

КРАТКИЙ РЕЕСТР СИБИРСКИХ ОПЫТОВ ГЕОСЕТИ С УДОБРЕНИЯМИ

Гамзиков Г.П., академик РАН,
Новосибирский ГАУ
г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160.
Моб. 8(913) 770 32 68E-mail: gamolgen@rambler.ru

Аннотация. Знакомство и анализ развития агрохимических исследований в сибирском земледелии свидетельствуют, что под влиянием отдела Географической сети опытов ВИУАА в регионе при научных и учебных учреждениях возникали опыты с удобрениями, которые со временем достаточно активно перерастали в длительные. Как правило, высокая эффективность органических и минеральных удобрений, а также их сочетаний убеждали не только научную общественность, но колхозное и совхозное крестьянство, а также и всё сельское население о необходимости их широкого применения. Агрономическая утилизация местных и применение промышленных удобрений позволяли гарантировать высокую урожайность сельскохозяйственных культур и укрепление стабильного производства продуктов питания и кормов для животноводства. В статье изложена краткая информация о действующих в регионе длительных полевых опытах, источниках бесценной агрохимической научной информации.

Ключевые слова. Реестр; длительные опыты; удобрения; местные и промышленные; севообороты, продуктивность культур; эффективность; окупаемость; оптимальные системы; плодородие почв.

По предложению академика Д.Н. Прянишникова 80 лет тому назад при ВНИАА была образована Географической сеть опытов с

удобрениями, предусматривающая длительное изучение их эффективности на территории страны [1]. Целью этих опытов было определение эффективности систем применения органических и минеральных удобрений в севооборотах в разных почвенно-климатических зонах. Агрохимическими исследованиями доказано, что наиболее полную и объективную информацию о влиянии систематического применения удобрений на продуктивность полевых культур, агрохимические свойства почв, баланс элементов минерального питания, изменение и особенности экологического воздействие на окружающую среду можно получить только при системны наблюдениях в длительных полевых опытах в севооборотах.

В Сибири такие опыты в 40-е годы были заложены в Томской, Новосибирской, Иркутской областях, а также в Алтайском и Красноярском краях [2]. С тех времён сохранилось, к сожалению, лишь два опыта: Барнаульский на Алтае и Нарымский в Томском Приобье. В 50-80 гг. прошлого столетия в научных учреждениях и сельскохозяйственных институтах в регионе закладка длительных стационаров была продолжена - работало более двух десятков длительных стационаров по изучению систем удобрений. К настоящему времен в рабочем состоянии сохранилось таких опытов, к сожалению, лишь восемь (табл.).

Знакомясь с материалами таблицы, нетрудно заметить, что длительные стационарные опыты территориально охватывают, практически все природные зоны Сибири, располагаясь на типичных почвах. В подтайге Нарымский опыт расположен на зональной дерново-подзолистой почве, в лесостепи - два Иркутских опыта так же на зональных почвах: светло-серой и серой лесной. В лесостепи также проводятся на чернозёме, выщелоченном Барнаульский и Солянский опыты. Единственный опыт на каштановой почве, которая характерна для сухой степи, принадлежит Бурятскому НИИСХ. На интразональной лугово-чернозёмной почве учёными старейшего сибирского института (СибНИИСХ) заложено два опыта –полевой зернопропашной и кормовой, в севообороте которого выращивают-

ся как однолетние, так и многолетние травы. Два опыта – Барнаульский с овощами в севообороте и Омский-2 с кормовыми культурами проводятся на орошении.

Представляя краткую реестровую характеристику сибирских полевых стационарных опытов, обращаем внимание на два старейших из них, заложенных ещё в 40-е годы прошлого столетия, Оба опыта Юбилейные в 2022 г., поскольку Барнаульскому исполняется 80 лет, а Нарымскому – 75 лет! По 55 лет исполняется в текущем году Иркутскому 1 и Бурятскому опытам, а также по 53 и 52, соответственно, Солянскому и Иркутскому 1. Самые относительно «молодые» стационары в реестре – Омский 2 (44 года) и Иркутский 2 (20 лет).

Сибирские географические длительные стационарные опыты
по изучению систем применения удобрений в севооборотах

№ опыта	Природная зона, регион	Почва	Севооборот	Годы	Организация
I	Таёжная, Томское Приобье	Дерново-подзолистая	Зернотравяной 7-польный	1947 75 лет	Нарымский, Сибирский НИИСХТ
II	Лесостепь, Прибайкалье	Светло-серая лесная	Зернопаровой 5- польный	1967 55 лет	Иркутский-1 Иркутский ГАУ
III		Серая лесная	Плодосменный 4-польный	2001 20 лет	Иркутский-2 Иркутский НИИСХ
IV	Лесостепь Канская островная	Чернозём выщелоченный	Зернопаровой 6- польный	1969 53 года	Солянский, Красноярский. НИИСХ
V	Лесостепь, Алтайское Приобье	Чернозём слабо-выщелоченный	Овощной 5- польный на орошении	1942 80 лет	Барнаульский, ЗС овощная станция ФНЦО
VI	Лесостепь южная, Омское Прииртышье	Лугово-чернозёмная	Зернопаро-пропашной 6-польный	1970 52 года	Омский 1, СибНИИСХ
VII			Кормовой 8-польныйй	1978 44 года	Омский 2, СибНИИСХ
VIII	Степная, Забайкалье	Каштановая	Зернопаровой, 4-польный	1967 55 лет	Бурятский, БурНИИСХ

В результатах длительных опытов заинтересованы не только их исполнители и учёные агрохимики, но, прежде всего, сами производители растениеводческой продукции – крестьяне, фермеры и

крупные хозяйства. Результаты научных опытов исследований и практические предложения по эффективному использованию удобрений в сибирском земледелии опубликованы во многих статья, монографиях, диссертационных работах и вошли в системы земледелия сибирских областей, краёв и республик [3-11]. Результаты этих фундаментальных исследований включены в практические рекомендации производству по эффективному применению удобрений в сибирских условиях для получения урожаев зерновых на уровне 3-5 т/га.

Представляя читателю краткий обзор сибирских стационарных опытов, мы надеемся привлечь внимание научной аграрной аудитории и руководства Министерства науки и образования, Министерства сельского хозяйства страны к сохранению длительных экспериментальных объектов, являющихся национальным достоянием нашей страны [12-14].

Нарымский агрохимический стационарный опыт заложен в 1948 г. на Нарымский государственной селекционной опытной станции (Томское Приобье, подзона южной тайги). Климатические условия жёсткие: сумма температур $>10^0$ =1600-1700^{0}С, годовое количество осадков – 475-500 мм, за вегетационный период – 220-250 мм, ГТК – 1,4-1,6. Опыт проводится на дерново-подзолистой почве, для которой характерно низкое содержание гумуса – 2% и $N_{общ.}$ – 0,9 %, $pH_{сол.}$ – 4,7, гидролитическая кислотность – 4,2 мг·экв/100г, сумма поглощённых оснований – 8 мг экв. /100 г. Стационар развёрнут во времени и пространстве в 7-польном севообороте: горох+овёс на зелёнку - ячмень с подсевом клевера - клевер - озимая рожь – пшеница - горохо+овёс на зерно - овёс. Опыт в натуре имеет 7 полей, на каждом из них размещено по 17 вариантов в 3-х кратной повторности. Посевная площадь делянки – 254 м^2, учётная – 200 м^2. Схема опыта включает три системы применения удобрений с контролем (без удобрений): органическую, минеральную и органоминеральную. За ротацию севооборота (7 лет) при органической системе вносится по 20, 40 и 60 т/га навоза, на вариан-

тах минеральной системы: 180, 240, 300, 360, 540 и 660 кг/га NPK и при органоминеральной: 20 т/га навоза + 360 кг/га NPK, с 40 т навоза вносятся, практически те же нормы минеральных туков.

Иркутский-I длительный стационарный опыт «Изучение систем применения удобрений на светло-серой лесной почве Прибайкалья» был заложен в 1967 г. проф. А.Н. Угаровым на опытном поле кафедры агрохимии Иркутского СХИ (ныне ГАУ). Полевой опыт заложен на типичной для Прибайкалья светло-серой лесной почве с исходным содержанием гумуса 2,03%, общего азота – 0,17%, $pH_{сол.}$ 5,8, подвижных фосфора – 25,8 и калия- 6,5 мг/100 г почвы (по Кирсанову). В 5-ти польном севообороте (пар-пшеница - сидерат (редька масличная) – пшеница – ячмень) вносятся удобрения до посева с последующей заделкой культиватором: 1. Контроль, 2. N60, 3. P40, 4. K60, 5. P40K60. 6. N60P40, 7. N60K60, 8. N60P40K60.

На серых лесных почвах Прибайкалья, как показали результаты опыта, главными факторами получения высоких и стабильных урожаев могут быть в сочетании только пары (чистые и сидеральные) и удобрения. Этот комплекс, как правило, позволяет получать максимальные урожаи зерна (30-40 ц/га), в том числе 7-9 ц/га за счёт минеральных удобрений.

Опыт Иркутский II – «Разработать технологию комплексного применения удобрений и мелиорантов, обеспечивающих повышение плодородия почвы и продуктивность агроценозов в адаптивно-ландшафтном земледелии Прибайкалья». Опыт заложен на землях Иркутского НИИСХ в 2001 г. д.с.-х.н. Мальцевым В.Т. Полевой опыт развёрнут в пространстве и во времени в 4-х польном плодосменном севообороте с чередованием культур: кукуруза – ячмень +клевер – клевер (сидерат) – пшеница. Половина опыта известкуется один раз за ротацию из расчёта по 0,5 Нг (5,7 т/га). Схема применения удобрений: контроль, NP, NK, PK, NPK. Нормы внесения удобрений (кг/га д.в.): N20, P20, K30 и 6-8 т биомассы клевера. Минеральные удобрения вносятся разброс под предпосевную куль-

тивацию, биомасса запахивается осенью. В опыте 4-х кратная повторность. Почва – серая лесная кислая, тяжелосуглинистая, содержание гумуса – 4,5-5,0, $N_{общ}$ – 0,25%, $pH_{ксl}$ 3,9-4,4, Нг – 9,1-10,6, S – 20,8-22,2 мг-экв/100 г, V – 68,4-72,1%, подвижных форм (по Кирсанову) фосфора – 10-12, калия – 8-10 мг/100 г почвы.

Красноярский опыт «Влияние систем удобрения в севообороте на плодородие почвы, продуктивность культур, качество урожая и охрану окружающей среды на чернозёмах Канской лесостепи» заложен и вёлся к.б.н., Т.М. Андроновой в 1969-1981 гг. Полевой опыт размещён на территории ОПХ «Солянское» Красноярского НИИСХ. Почва под опытом – чернозём, выщелоченный среднегумусный тяжелосуглинистый, мощность гумусового горизонта 52 см, глубина $A_{пах}$ – 28 см. Агрохимические свойства почвы опытного участка: $pH_{сол}$ = 6,3, гумус – 6,81, общий азот – 0,30 %, подвижных фосфора – 18,5 (по Труогу) и калия- 22,3 мг/100г почвы. Схема опыта: 1. Без удобрений, 2. NP, 3. NK, 4.PK, 5. NPK, 6. Навоз,7. NPK экв. навозу 8. Навоз+N, 9. Навоз+P, 10. Навоз +NP, 11. Навоз+ NPK, 12. ½ навоза + ½ доза NPK, 13. N. Опыт ведётся в 6-польном севообороте: пар – пшеница – пшеница – кукуруза – -пшеница – пшеница. Опыт ведётся в 3-х полях севооборота, повторность 4-х кратная.

Барнаульский овощной стационар по изучению систем применения удобрений под овощные культуры и картофель заложен Музычкиным Е.Т. в 1942 г. Стационар размещён в лесостепи Алтайского Приобья на опытном поле Западно-Сибирской овощной опытной станции ФНЦ Овощеводства.

Цель стационарного опыта – разработка системы применения удобрений под овощные культуры и картофель на чернозёме выщелоченном. Агрохимические свойства почвы: pH_{kcl} – 5,9-6,5, S – 30-31 мг-экв. /100 г почвы, содержание гумуса – 4,0-4,2%, общего азота – 0,144-0,168%, подвижных фосфора – 256-692 мг/кг (по Чирикову) и калия – 205-348 мг/кг (по Масловой). Исследования ве-

дутся в 5-польном севообороте (томат – капуста – морковь, картофель - огурец) по схеме: 1. без удобрений,

2. N56P81K66, 3. N56K66, 4. P81K66,5. N84P121K99, 6. Органические – 32 т/га, 7. N56P81 8. Органические 32 т/га + N56P81K66, 9. Последействие.

Результаты исследований позволили разработать математические модели для получения стабильно высоких урожаев овощей.

Омский 1 агрохимический опыт «Разработать дифференцированные системы применения удобрений в полевом севообороте южной лесостепи Западной Сибири» заложен в 1975 г. по инициативе проф. А.Е. Кочергина на опытном поле СибНИИСХ (Омск).

Почва опытного поля – лугово-чернозёмная среднемощная средне гумусовая. Исходное содержание гумуса в слое 0-20 см – 6,6%, общего азота – 0,32%, S мг/экв/ 100г – 32,1, подвижные P_2O_5 – 9,2 и K_2O – 42,0 мг/100 г почвы (по Чирикову). Изучение систем удобрений при длительном их применении ведётся в 6-польном зернопропашном севообороте при чередовании культур: пар – пшеница – пшеница – кукуруза – пшеница – ячмень. Схема системы применения удобрений состояла из 5 вариантов: без удобрений, минеральная и навозно-минеральная, два последних варианта включали два уровня доз навоза и NPK. Исследования позволили разработать системы применения удобрений, позволяющие получать урожаи зерновых 3-4 т/га и кукурузы 40-45 т/га зелёной массы при сохранении почвенного плодородия.

Омский 2 на орошении «Усовершенствовать приёмы и параметры технологий выращивания кормовых культур при орошении на лугово-чернозёмной почве Западной Сибири». Опыт заложен в 1978 г. на землях «ОПХ «Омское» СибНИИСХ, расположенных в южной лесостепи. Почва – лугово-чернозёмная тяжелосуглинистая мощностью гумусового горизонта 44-49 см. Исходные свойства почвы близки к почве богарного участка. Глубина залегания грунтовых вод (до начала орошения) – от 4,6 до 5,5 м. Участок под опытом до закладки и при уравнительных посевах использовался как

богарный. Фоновый режим увлажнения почвы поддерживался поливами в узких пределах (ВРК-0,9-1,0 НВ) в слоях 0,5, 0,6 и 1,0 м в зависимости от фазы развития и биологии культур.

Кормовой севооборот опыта включает 8 полей в натуре с культурами: 1. козлятник, 2. ячмень, 3. люцерна, 4. однолетние на корм, 5. горох, 6. рожь озимая, 7. козлятник+кострец, 8. суданская трава+ вика, поукосно озимая рожь. Опыты двух-трёхфакторные. В 1978-1985 гг. они включали 4 фона фосфатного питания (контроль, I - повышенный, II – высокий и III – очень высокий). На втором этапе (1986-1995 гг.) в почве четыре фона по содержанию подвижных фосфатов сочетались с азотными удобрениями. В последующем (1991-1995 гг.) на эти фоны накладывались возрастающие дозы азотного удобрения (O, N30, N60, N90) и микроудобрений (Zn, Mo, Co).

Размещение делянок систематическое. Площадь делянок (360 м^2). Повторность – 3-4-кратная. Полив проводится ДКЖ-64 «Волжанка». Учёт урожая – комбайном «Сампо 25». Закладка и проведение опытов, учётов и наблюдений, лабораторных анализов и статистическая обработка результатов осуществлялась в соответствии с методами и методиками, принятыми в земледелии и агрохимии.

За 45-летний период исследований в орошаемом кормовом стационаре установлены оптимальное соотношение однолетних и многолетних кормовых культур в севообороте, определены системы применения удобрений для формирования продуктивности агроценозов и оптимизации почвенного плодородия при высокой окупаемости затрат.

Бурятский агрохимический опыт «Разработать научные основы технологий эффективного применения удобрений в почвозащитном земледелии в агроландшафтах сухой степи Забайкалья» проводится в сухостепной зоне на каштановых почвах. Опыт заложил в 1967 г. и вёл до 1978 г. к.с.-х.н. Г.П. Колмаков. Около 30 лет руководителем и исполнителем был д.с.-х.н. Т.П. Лапухин. Стационарный опыт по изучению систем применения удобрений зало-

жен и проводится на землях Бурятского НИИСХ расположенных в сухой степи с резко континентальным климатом: с коротким жарким летом и глубоким промерзанием профиля почв зимой. Среднее количество осадков за год 247 мм, за вегетацию – 168 мм, сумма активных t° =1300-1980. Почва – каштановая мучнисто-карбонатная легкосуглинистая с содержанием гумуса – 1,31%, общего азота – 0,09%, $pH_{сол.}$ – 6,4, подвижных фосфора – 1,4 и калия – 9,6 мг/100 г почвы (по Мачигину).

В опыте развёрнут в 4-х польном зернопаровом севообороте (пар чистый-пшеница-овёс-овёс на зерносенаж). Схема удобрений: 1. Контроль, 2. Р20 в рядки, 3. N40P40, 4. P40K40, 5. N40K40, 6. N40P40K40, 7. Навоз 40т/га, 8. N20P20 в рядки, 9. Навоз 20 т/га, 10. NPK, экв. 20 т/га навоза, 11. Навоз 10т/га + NPK, экв. 10 т/га навоза, 12. N20P20K20, 13. N60P40K40. Бурятский стационарный опыт с удобрениями, которому более 50 лет - единственный в стране на каштановых почвах. Результаты его исследований могут быт интерпретированы для аналогичных почв других регионов страны.

Все длительные опыты, несомненно, представляют огромную научную ценность, поскольку содержат и продолжают создавать важную агрономическую, агрохимическую, экологическую и экономическую информацию. Все эти данные широко используются для теоретического обоснования и разработки комплекса практических агротехнических приёмов для современного земледелия на основе адаптивно-ландшафтных подходов. Результаты опытов успешно используются при качественной оценке плодородия зональных почв, программировании продуктивности культур в севооборотах, а также при экономической и экологической оценке местных и минеральных удобрений. Материалы длительных опытов сейчас и в ближайшей перспективе позволят решать проблемы освоения цифровизации и освоения точного земледелия на базе адаптивно-ландшафтных подходов.

Литература

1. Прянишников Д.Н. Советская агрохимия и научный институт по удобрениям и инсектофунгицидам / Академик Д.Н. Прянишников. Избранные сочинения т. IV. Изд-во АН СССР. М.: 1955. С .323-337.

2. Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири. М.; Наука. 1968. 384 с.

3. Лапухин Т.П., Эффективность удобрений в полевых севооборотах на каштановых почвах Бурятии // Сибирский вестник с.-х. науки. 1983. Т 4. С. 1-6.

4. Мальцев В.Т., Останин В.А., Лозовая Н.Г. Влияние комплексного применения извести и удобрений на агрохимические показатели на серой лесной кислой почвы и продуктивность плодосменного севооборота / Агрохимия. 2010. №4. С. 35-42.

5. Сирота С.М. Удобрение овощных культур и картофеля на юге Западной Сибири. М.: ВНИИА, 2011. 280 с.

6. Билтуев А.С., Лапухин Т.П., Будажапов Л.В. Климат, плодородие почв и продуктивность зерновых культур в аридных условиях Забайкалья: состояние и прогноз. Улан-Удэ: БГСХА им. В.Р. Филиппова. 2015. 141 с.

7. Храмцов И.Ф., Воронкова Н.А. Плодородие почвы и продуктивность агроценозов при длительном применении средств химизации и приёмов биологизации в лесостепи Западной Сибири / В сборнике: 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. Материалы Всероссийского совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. 2016. С. 303-309.

8. Трубников Ю.Н., Шпедт А.А. Влияние удобрений на агрохимические свойства и производительную способность чернозёмов Приенисейской Сибири // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия. VIII Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения / Материалы научно-производственной конференции с международным участием (Тюмень, 16-20 июля 2018г.) Тюмень: ГАУ Северного Зауралья 2018 С. 182-189.

9. Гамзиков Г.П., Анкудович Ю.Н. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность полевых культур и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (К 70-летию Нарымского стационара) / Агрохимия, 2018, № 1. С. 17-29.

10. Пивоваров В.Ф., Надеждин С.М., Солдатенко А.В., Воронкин Е.В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозёма вы-

щелоченного, урожайность и качество овощных культур // Плодородие. 2021. №3. С. 89-92.

11. Бойко В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых чернозёмах в лесостепи Западной Сибири ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск; Изд-во ИП Макшеевой Е.А. 2019. 312 с.

12. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. Издание первое. М.: Агроконсалт. 2002. 240 с.

13. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. Издание второе. 2005. М.: Агроконсалт. 2005. 196 с.

14. Реестр длительных стационарных полевых опытов государственных научных учреждений Сибирского отделения Россельхозакадемии. Новосибирск. 2009. 285 с.

SHORT REGISTER OF SIBERIAN LONG-TERM GEONETIC EXPERIMENTS WITH FERTILIZERS

Gamzikov G.P., Academician of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk State Agrarian University Novosibirsk, st. Dobrolyubova, 160.
E-mail: gamolgen@rambler.ru

Annotation. Acquaintance and analysis of the development of agrochemical research in Siberian agriculture testify that under the influence of the VIUAA Geographical Network of Experiments in the region, experiments with fertilizers arose at research and educational institutions, which over time quite actively developed into long-term ones. As a rule, the high efficiency of organic and mineral fertilizers, as well as their combinations, convinced not only the scientific community, but the collective farm and state farm peasantry, as well as the entire rural population, of the need for their widespread use. The agronomic utilization of local and industrial fertilizers ensured high crop yields and strengthened sustainable food production. The article provides information about long-term field experiments operating in the region, sources of invaluable agrochemical scientific information.

Keywords. Registry; long experiences; fertilizers; local and industrial; crop productivity; efficiency; payback; optimal systems; soil fertility.

УДК 631.82:631.452: 631.445.2

ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЖИМОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРЕДУРАЛЬЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Н.Е. Завьялова, М.Т. Васбиева
Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь
nezavyalova@gmail.com, vasbieva@mail.ru

Аннотация. В Пермском крае в длительном полевом опыте 1978 г. закладки проведена оценка влияния систематического применения возрастающих доз полного минерального удобрения (NPK от 30 до 150 кг д.в./га) на содержание органического углерода и его подвижных компонентов в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Установлены закономерности формирования азотного, фосфатного и калийного режимов почвы под воздействием длительного применения удобрений. Изучено влияние NPK на валовое (общее) содержание азота, фосфора, калия в почве и их фракционный состав.

Ключевые слова: минеральные удобрения; дерново-подзолистая почва; органический углерод; азотный режим; фосфатный режим; калийный режим.

В мире проводится более 600 длительных полевых опытов с удобрениями, которые охватывают почти все типы почв и климатические условия [1]. Удобрения – сильнодействующий фактор, который влияет на естественные почвенные процессы и приводит к изменению параметров плодородия. Результаты исследований в длительных опытах представляют большую научную ценность, так как позволяют выявить направленность изменения плодородия почв под влиянием систематического применения удобрений [2].

Цель исследований – изучить изменения режима органического вещества, азотного, фосфатного и калийного режимов дерново-подзолистой почвы при длительном применении возрастающих доз минеральных удобрений в условиях Предуралья.

Исследования проводили в длительном стационарном опыте, заложенном в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без удобрений), $(NPK)_{30}$, $(NPK)_{60}$, $(NPK)_{90}$, $(NPK)_{120}$, $(NPK)_{150}$. Исследования проводили на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве со следующими агрохимическими характеристиками (слой 0-20 см): pH_{KCl} 5,6; гидролитическая кислотность 2,0, обменная 0,025, сумма поглощенных оснований – 21,0 ммоль/100 г почвы, содержание $C_{орг}$ по Тюрину 1,23 %, содержание подвижных форм фосфора 175, обменного калия 203 мг/кг почвы (по Кирсанову). Севооборот полевой восьмипольный: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница, клевер 1 года пользования (г.п.), клевер 2 г.п., ячмень, овес. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, на клевере изучали последействие. Общая площадь делянки 120 $м^2$, учетная 76,4 $м^2$. Опыт заложен в 2-х закладках, размещение вариантов рендомизированное.

Общий азот определяли по методу Къельдаля [3], фракции азота по [4], углерод, экстрагируемый 0,1 н раствором NaOH, 0,1 м Na4P2O7 при pH 7 и горячей водой по [5]. Общее содержание фосфора в почве, содержание его минеральных и органических соединений определяли методом прокаливания Сэндерса и Вильямса, подвижные формы фосфора по Кирсанову [3]. Фракционный состав минеральных фосфатов определяли методом Гинзбург–Лебедевой [6]. Содержание легкоподвижной формы калия изучали в 0,005н $CaCI_2$ вытяжке, обменный по Кирсанову, необменный легкогидролизуемый по Пчелкину, необменный фиксированный по Гедройцу [3]. Валовое содержание калия определяли после мокрого озоления в смеси концентрированной серной кислоты и перекиси водорода [7].

При длительном сельскохозяйственном использовании дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в варианте без применения удобрений в пахотном слое (0-20 см) отмечена тенденция постепенного снижения содержания органического углерода ($C_{орг}$) с 1,24 до 1,06% (рис. 1). Его запасы к началу шестой ротации снизились на 4,4 т/га. Основными причинами потерь $C_{орг}$ в почве при вовлечении ее в сельскохозяйственный оборот являются уменьшение поступления растительных остатков, усиление процессов минерализации, эрозии и дефляции [8]. Длительное внесение NPK в дозах 120 и 150 кг д.в./га обеспечило поддержание уровня $C_{орг}$ на исходном уровне. За счет повышения урожайности полевых культур и, как следствие увеличения органического вещества пожнивно-корневых остатков поступающих в почву, содержание $C_{орг}$ стабилизировалось. При применении более низких доз NPK со временем проявляются тенденции снижения содержания $C_{орг}$. Разница в динамике изменения уровня $C_{орг}$ по ротациям может быть обусловлена наличием аналитической ошибки, пространственной вариабельностью и сезонной составляющей.

Изменение содержания подвижных компонентов органического вещества изучали в пятой ротации севооборота (2011-2017 гг.). Количество подвижного углерода в водной вытяжке и 0,1 Н NaOH в среднем возросло в 1,2-1,4 раза при внесении в почву полного минерального удобрения в дозах от 60 до 150 кг д.в./га. Увеличение содержание углерода, экстрагируемого в вытяжке 0,1MNa4P2O7 наблюдали при внесении NPK в дозах 120 и 150 кг д.в./га (рис.2-4).

Между содержанием в почве $C_{орг}$ и его подвижными компонентами установлена высокая и очень высокая связь, r =0,85-0,94.

Содержание общего азота в пахотном слое контрольного варианта в V ротации полевого восьмипольного севооборота составило 1116 мг/кг (табл. 1). Степень обогащённости органического вещества азотом средняя: C:N – 10. Запасы общего азота в верхнем горизонте составили 2,9 т/га.

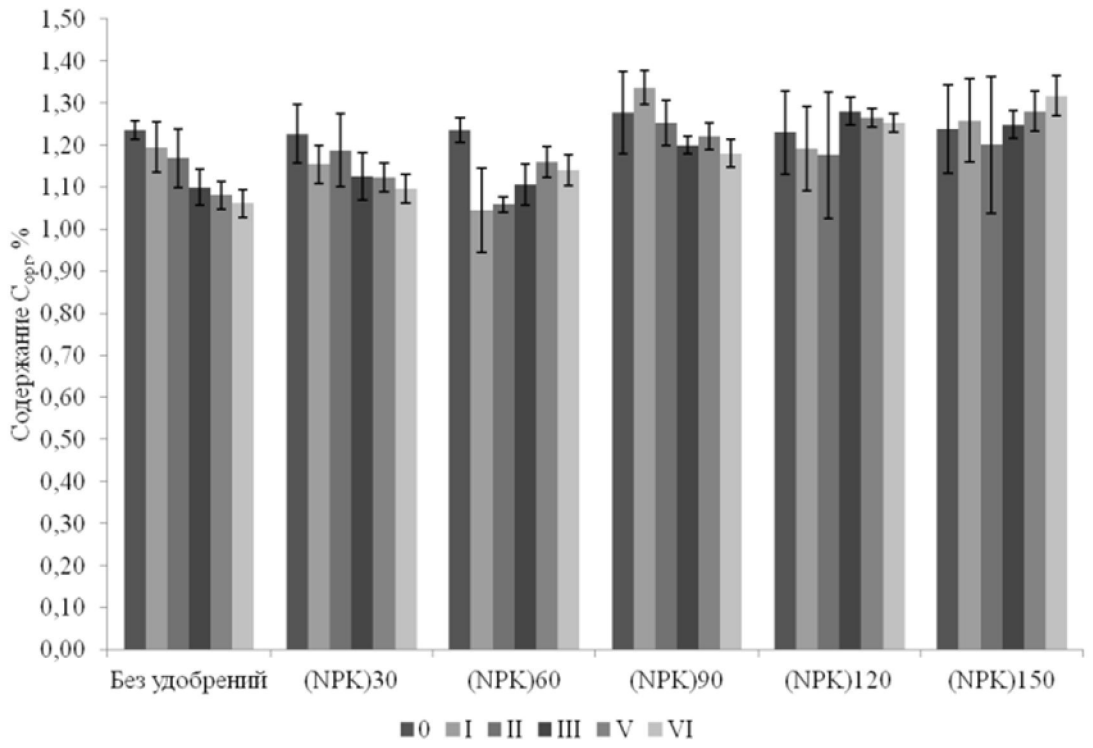

Рис. 1. Изменение содержания $C_{орг}$ в дерново-подзолистой почве (0-20 см) при длительном применении минеральных удобрений (среднее по двум закладкам, I-VI ротации), %

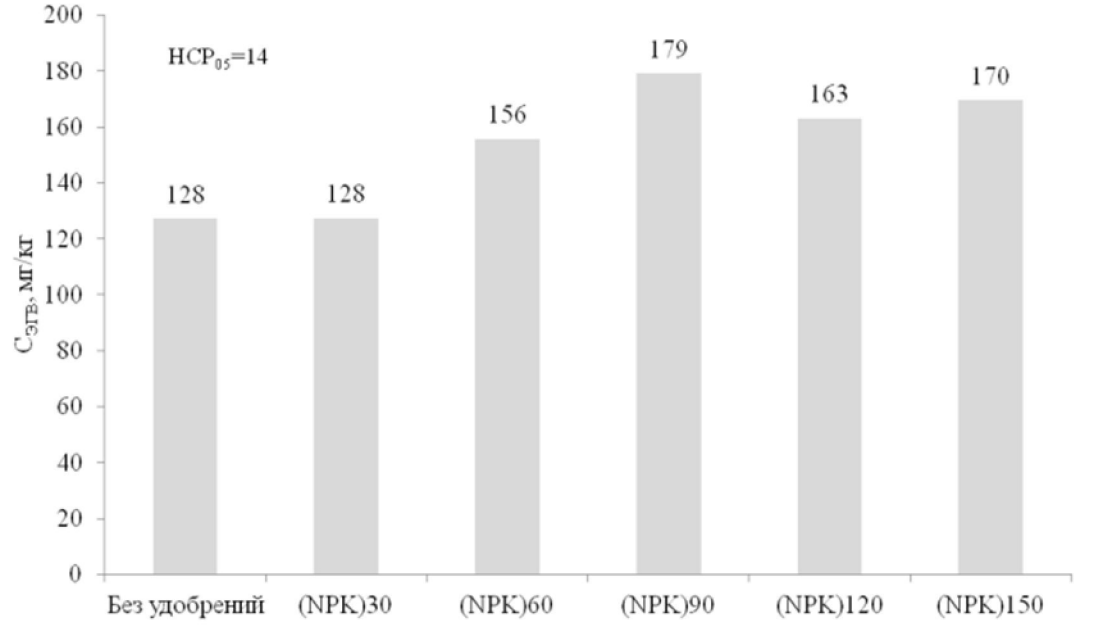

Рис. 2. Изменение содержания $C_{эгв}$ в дерново-подзолистой почве (0-20 см), мг/кг (среднее за 2011-2017 гг.)

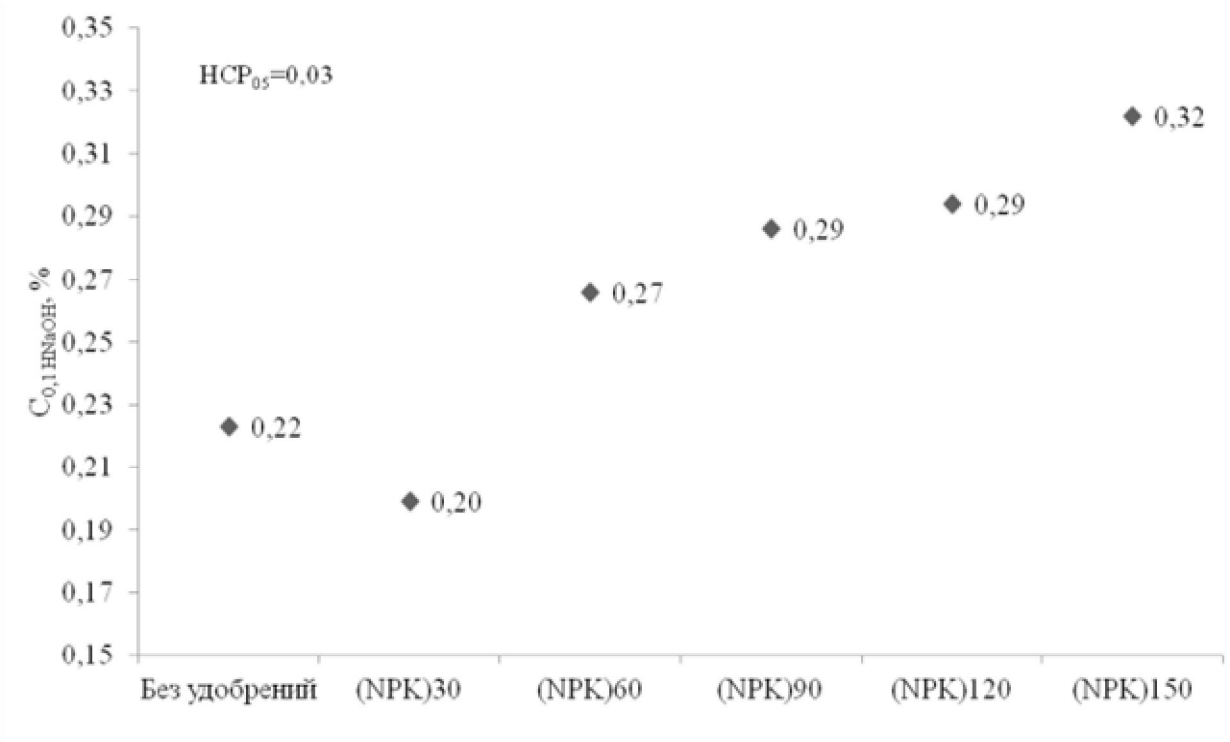

Рис. 3. Изменение содержания $C_{0,1H\ NaOH}$ в дерново-подзолистой почве (0-20 см), % (среднее за 2011-2017 гг.)

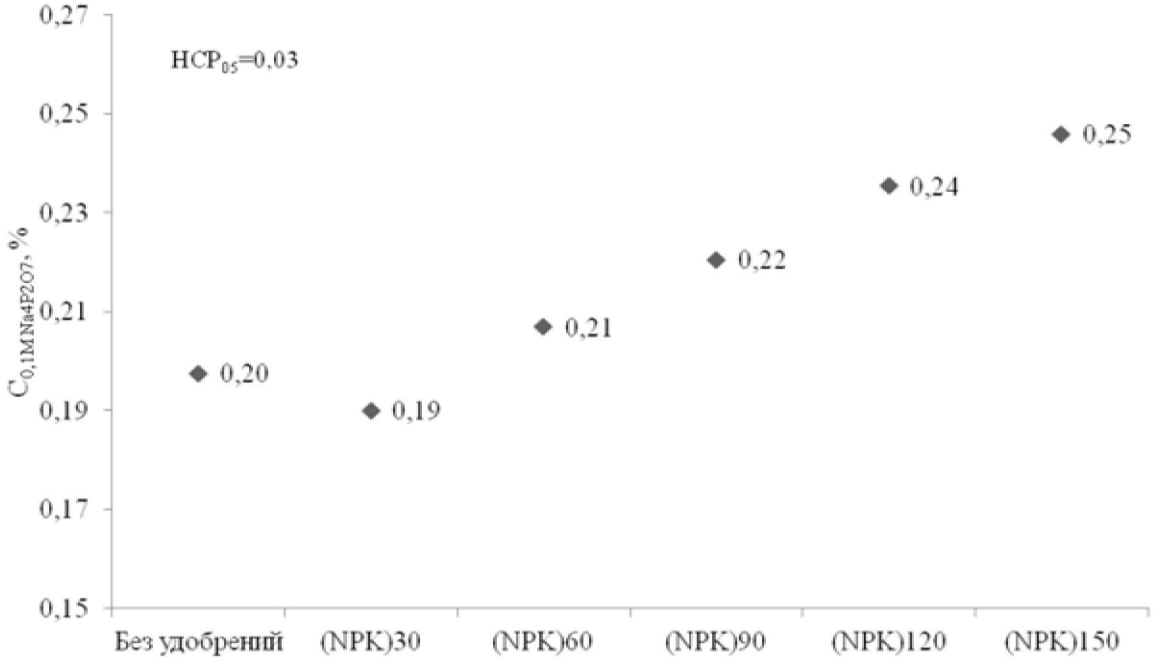

Рис. 4. Изменение содержания $C_{0,1MNa4P2O7}$ в дерново-подзолистой почве (0-20 см), % (среднее за 2011-2017 гг.)

1. Фракционный состав азота дерново-подзолистой почвы при длительном внесении минеральных удобрений, 0-20 см (V ротация)

Вариант	Общий азот, мг/кг	Негидро-лизуемый азот	Трудногидро-лизуемый азот	Легко-гидролизуемый азот	Минеральный азот	C:N
		мг/кг (%)				
Без удобрений	1116	818[1] / 73	192 / 17	86 / 8	20 / 2	10
$(NPK)_{30}$	1212	908 / 75	171 / 14	95 / 8	38 / 3	9
$(NPK)_{60}$	1380	968 / 70	213 / 15	132 / 10	67 / 5	9
$(NPK)_{90}$	1487	1036 / 70	213 / 14	158 / 11	80 / 5	9
$(NPK)_{120}$	1610	1167 / 73	221 / 14	137 / 9	84 / 5	8
$(NPK)_{150}$	1760	1262 / 72	242 / 14	148 / 8	108 / 6	6
$НСР_{05}$	148	105	20	35	22	-

Примечание. 1 – над чертой – содержание форм азота в почве, мг/кг; под чертой – % к общему содержанию фосфора.

Для оценки качественного состава азота почв широкое применение получил метод кислотного гидролиза, разработанный Ф.К. Воробьёвым, в последующем модифицированный Э.И. Шконде и И.Е. Королёвой. Этот метод позволяет достаточно объективно судить о качественных и количественных преобразованиях азота в почве при использовании агрохимикатов, а также определить степень участия соединений азота в питании растений. Фракция негидролизуемого азота, представленная более стойкими к гидролизу и микробиологическому разложению органическими азотсодержащими соединениями, необменным аммонием, составила в контрольном варианте большую часть общих запасов азота изучаемой дерново-подзолистой почвы – 73 %. На втором месте находилась трудногидролизуемая – 17 % и на третьем легкогидролизуемая фракция – 8 %. На долю минеральной фракции пришлось всего 2 %.

Исследования показали, что длительное внесение полного минерального удобрения в дозе от 60 до 150 кг д.в./ га способствовало достоверному увеличению в почве содержания общего азота в 1,2-1,6, негидролизуемого в 1,2-1,5, трудногидролизуемого в 1,1-1,3, легкогидролизуемого в 1,5-1,8 и минерального в 3,3-5,3 раза. Абсолютное содержание фракций азота возрастало с увеличением дозы минерального удобрения. Максимальное накопление общего азота и всех его фракций отмечено в варианте $N_{150}P_{150}K_{150}$. При внесении $N_{30}P_{30}K_{30}$ наблюдали достоверное снижение трудногидролиуемой фракции азота на 11%. Степень обогащенности азотом органического вещества по всем вариантам опыта повысилась и в вариантах $(NPK)_{120}$ и $(NPK)_{150}$ перешла в разряд высокой (C:N -6-8).

Содержание общего фосфора в пахотном слое почвы в варианте без удобрений составило 1065 мг/кг, в том числе его минеральных соединений – 685 мг/кг (64% от общего) и органических – 380 мг/кг (36 % от общего) (табл. 2). Содержание общего фосфора закономерно возрастало при увеличении дозы полного минерального удобрения. Длительное применение минеральных удобрений повлияло на соотношение в почве групп минеральных и органических соединений фосфора, отмечено увеличение удельной доли минеральных и снижение доли органических соединений. С возрастанием дозы NPK наблюдали достоверное уменьшение содержания органических соединений фосфора на 19-43% и увеличение минеральных в 1,3-2,1 раза. Аналогичные результаты получены авторами работы [9].

Запасы общего фосфора в пахотном слое почвы в результате длительного применения минеральных удобрений возросли на 0,3-1,6 т/га, фосфора минеральных соединений на 0,5-1,9 т/га, запасы фосфора органических соединений снизились на 0,2-0,4 т/га. Содержание подвижных соединений фосфора в почве при внесении $(NPK)_{30-150}$ достоверно возросло в 1,6-2,4 раза, запасы в пахотном слое почвы увеличились на 0,3-0,7 т/га. Увеличение количества подвижных соединений фосфора может быть связано с повышени-

ем кислотности почвы. Гидролитическая кислотность почвы увеличилась в результате длительного внесения минеральных удобрений с 2,4 в контрольном варианте до 3,7 мг-экв./100 г в варианте $(NPK)_{150}$.

2. Изменение показателей фосфатного режима дерново-подзолистой почвы при длительном применении минеральных удобрений, 0-20 см (V ротация)

Вариант	Валовый фосфор, %	Содержание общего фосфора, мг/кг	Минеральные соединения фосфора, мг/кг (%)	Органические соединения фосфора, мг/кг (%)	Подвижные соединения фосфора, мг/кг
Без удобрений	0,16	1065	685[1] / 64	380 / 36	185
$(NPK)_{30}$	0,18	1168	860 / 74	308 / 26	300
$(NPK)_{60}$	0,18	1165	870 / 75	295 / 25	344
$(NPK)_{90}$	0,18	1310	1040 / 79	270 / 21	390
$(NPK)_{120}$	0,20	1480	1265 / 85	215 / 15	442
$(NPK)_{150}$	0,22	1670	1405 / 84	265 / 16	452
НСР $_{05}$	0,02	160	170	95	90

Примечание. 1 – над чертой – содержание фосфора в почве, мг/кг; под чертой – % к общему содержанию фосфора.

Для более полной характеристики фосфатного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья был определен фракционный состав минеральных фосфатов, который характеризует генетические особенности исследуемой почвы и отражает влияние длительного внесения удобрений на закрепление остаточных фосфатов минеральной частью почвы. Исследования показали, что наибольшую долю в составе минеральных фосфатов почвы занимали Fe-P. Высокое содержание Fe-P объясняется повышенным содержанием железа в данных почвах. Под воздействием возрастающих доз полного минерального удобрения наблюдали количественные и качественные изменения минерального состава фосфа-

тов (табл.3). При внесении $(NPK)_{60-150}$ достоверно увеличилось количество наиболее доступных для растений фосфатов кальция I и II группы ($Ca\text{-}P_I$ и $Ca\text{-}P_{II}$) в 1,7-2,2 и 1,1-1,4 раза, соответственно. Содержание фракции железофосфатов во всех вариантах с удобрениями было выше контрольного в 1,2-1,3 раза. Менее всего претерпели изменение группа алюмофосфатов и фосфаты кальция III группы ($Ca\text{-}P_{III}$), в которую входят высокоосновные фосфаты кальция типа апатита. Увеличение содержания данных групп отмечено только при внесении высоких доз NPK – 120 и 150 кг д.в./га. В этих вариантах наблюдали увеличение всех фракций фосфора в 1,2-2,2 раза.

3. Фракционный состав минеральных фосфатов дерново-подзолистой почвы при длительном применении минеральных удобрений, 0-20 см (V ротация)

Вариант	$Ca\text{-}P_I$	$Ca\text{-}P_{II}$	Al-P	Fe-P	$Ca\text{-}P_{III}$	Сумма минеральных фосфатов	$\frac{Ca\text{–}P_I + Ca\text{-}P_{II}}{Al\text{-}P + Fe\text{-}P}$
Без удобрений	137/10	300/21	168/12	560/40	235/17	1399	0,6
$(NPK)_{30}$	193/12	332/20	184/11	689/42	255/15	1653	0,6
$(NPK)_{60}$	227/13	337/20	179/10	728/42	250/15	1720	0,6
$(NPK)_{90}$	233/14	360/22	165/10	682/41	233/14	1672	0,7
$(NPK)_{120}$	294/15	405/21	211/11	700/37	308/16	1917	0,8
$(NPK)_{150}$	307/15	414/20	315/15	697/34	312/15	2044	0,7
$НСР_{05}$	72	36	28	80	54	144	-

Примечание. 1 – над чертой – содержание фракций фосфора в почве, мг/кг; под чертой – % к общему содержанию фосфора.

Выявлены закономерности распределение остаточных фосфатов по фракциям. Фосфор удобрений на 35-57% закрепился в виде $Ca\text{-}P_I$ и $Ca\text{-}P_{II}$ и на 21-52% в виде фракции Fe-P. При минимальной дозе $(NPK)_{30}$ остаточный фосфор на 51 % вошел во фракцию Fe-P и на 35% – в состав фракций $Ca\text{-}P_I$ и $Ca\text{-}P_{II}$. При максимальной дозе $(NPK)_{150}$ остаточный фосфор на 21 % закрепился в виде Fe-P и на 44% – в состав фракции $Ca\text{-}P_I$ и $Ca\text{-}P_{II}$.

Сумма всех фракций минеральных фосфатов дает представление об общих запасах минерального фосфора в почве. Однако эта сумма близка к содержанию валового фосфора. Авторы метода считают, что во всех фракциях присутствует и часть органических соединений фосфора, так как четкого разграничения между органическими и минеральными фосфатами в почвенных вытяжках невозможно. Другие исследователи полагают, что практически все органические соединения фосфора входят в группу алюмофосфатов [10].

Об особенностях фосфатного режима почв можно судить по соотношению суммы фосфатов кальция $Ca–P_I$ + $Ca-P_{II}$ и суммы фосфатов полуторных оксидов (Al-P + Fe-P). Чем выше эта величина, тем доступнее фосфор растениям [11]. Максимальные значения соотношения (0,7-0,8) получены в вариантах $(NPK)_{90-150}$.

Содержание валового калия в пахотном слое дерново-подзолистой почвы контрольного варианта составило 18740 мг/кг (табл. 4). Длительное внесение минеральных удобрений $(NPK)_{30-150}$ достоверно повысило его содержание в 1,1-1,3 раза. Запасы валового калия в результате применения удобрений возросли с 47 (контрольный вариант) до 50-60 т/га. Доля легкообменных форм калия составила 0,06-0,10 % от валового содержания, обменных – 0,7-1,1 % и необменных – 4,8-5,4 %. При длительном внесении $(NPK)_{60-150}$ отмечено достоверное увеличение относительно контрольного варианта всех форм калия в почве в 1,1-1,7 раза. Максимальное влияние на калийный режим почвы наблюдали в варианте $(NPK)_{150.}$ При применении NPK в дозе 30 кг д.в. отмечено достоверное увеличение содержания необменных фиксированных соединений калия по Гедройцу.

В контрольном варианте опыта наблюдали снижение обменной формы калия на 41% относительно его содержания перед закладкой опыта. Только применение $(NPK)_{150}$ обеспечило поддержание содержания обменного калия относительно исходного уровня.

4. Валовое содержание калия и его различных форм в дерново-подзолистой почве при длительном применении минеральных удобрений, 0-20 см (V ротация)

Вариант	Валовое содержание	Легко обменная	Обменная по Кирсанову	Обменная по Масловой	Необменная гидролизуемая по Пчелкину	Необменная фиксированная по Гедройцу
Контроль	18740	15 / 0,08	120 / 0,7	171 / 1,0	439 / 2,5	437 / 2,5
$(NPK)_{30}$	20710	13 / 0,06	117 / 0,6	177 / 0,9	455 / 2,2	529 / 2,6
$(NPK)_{60}$	20100	19 / 0,10	152 / 0,8	211 / 1,1	521 / 2,6	473 / 2,4
$(NPK)_{90}$	21330	19 / 0,09	162 / 0,8	230 / 1,1	503 / 2,4	642 / 3,0
$(NPK)_{120}$	23180	20 / 0,09	156 / 0,7	229 / 1.0	481 / 2,1	657 / 2,8
$(NPK)_{150}$	24040	25 / 0,10	203 / 0,8	276 / 1,1	544 / 2,3	625 / 2,6
$НСР_{05}$	1360	4	23	35	54	106

Примечание. * – над чертой – содержание в мг/кг, под чертой – % к валовому содержанию калия.

Таким образом, исследования, проведённые в условиях длительного стационарного опыта, показали, что применение NPK в дозах 120 и 150 кг д.в./га в зернопаропропашном севообороте на начало шестой ротации способствовали поддержанию органического углерода в почве на исходном уровне. Длительное применение минеральных удобрений оказало существенное влияние на азотный, фосфатный и калийный режимы почвы. В большей степени достоверные изменения наблюдали при внесении удобрений в дозе от 60 до 150 кг д.в./га. Отмечено увеличение в почве содержания общего азота и его форм (негидролизуемой, трудногидролизуемой, легкогидролизуемой и минеральной) в 1,1-5,3 раза. С возрастанием дозы NPK наблюдали достоверное уменьшение содержания органических соединений фосфора 1,2-1,4, увеличение минеральных и подвижных соединений в 1,3-2,4 раза. Отмечено увеличение коли-

чества наиболее доступных для растений фосфатов кальция I и II группы, а также железофосфатов. Интенсивность влияния на фосфатный режим почвы возросла при внесении $(NPK)_{150}$, здесь наблюдали повышение всех трёх групп фосфатов кальция, железофосфатов и алюмофосфатов. При длительном внесении NPK отмечено достоверное увеличение валового калия, его обменных и необменных форм в 1,1-1,7 раза.

Литература

1. Sychev V.G., Naliukhin A.N., Shevtsova L.K., Rukhovich O.V., Belichenko M.V. Influence of Fertilizer Systems on Soil Organic Carbon Content and Crop Yield: Results of Long-Term Field Experiments at the Geographical Network of Research Stations in Russia / // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. No 12. P. 1794-1808. DOI 10.1134/S1064229320120133.

2. Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г. Динамика гумусного состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2012. № 6. С. 23-31.

3. Агрохимические методы исследования почв. М., «Наука» -1975 – 656с.

4. Шконде Э.И. Королева И.Е. О природе и подвижности почвенного азота // Агрохимия. 1964. № 10. С. 17-35.

5. Методические указания «Методы определения активных компонентов в составе гумуса», М.:ВНИИА, 2010. – 34 с.

6. Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы // Агрохимия. 1971. №1. С.125-136.

7. Патент Беларуси. №17070. Способ определения валовых форм азота, фосфора и калия из одной навески пробы почвы. 2013.

8. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. 2011. № 12. С. 21-27.

9. Заришняк А.С., Иванина В.В., Колибабчук Т.В. Фосфатный режим чернозема оподзоленного при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2014. № 4. С.-20-26.

10. Кудеярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. М.:Наука, 1995. – 288 с.

11. Ubugunov L.L., Merkusheva M.G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // Eurasian Soil Science. 2015. V. 48. № 6. PP. 634-642. DOI: 10.1134/S1064229315060113.

TRANSFORMATION OF REGIMES OF ORGANIC SUBSTANCE AND NUTRITIONAL ELEMENTS OF SODDY-PODZOLY SOIL OF THE PRE-URAL'S WITH LONG APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS

Zavyalova Nina Egorovna, Vasbieva Marina Tagiryanovna
Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences

Annotation. An assessment of the effect of the systematic application of increasing doses of complete mineral fertilizers (NPK from 30 to 150 kg a.i. / ha) on the content of organic carbon and its mobile components in soddy-podzolic heavy loamy soil was carried out in a long-term field experiment in 1978, laying in the Perm Region. The regularities of the formation of nitrogen, phosphate and potassium regimes of the soil were established under the influence of long-term use of fertilizers. The influence of NPK was studied on the gross (total) content of nitrogen, phosphorus, potassium in the soil and their fractional composition.

Key words: mineral fertilizers; sod-podzolic soil; organic carbon; nitrogen regime; phosphate regime; potash regime.

УДК 631.53:631.54

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ И ЕГО АДАПТАЦИИ ГЛОБАЛЬНЫМ КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ

А.И. Иванов, Ж.А. Иванова
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
Санкт-Петербург, ivanovai2009@yandex.ru

Аннотация. Окультуривание пахотных дерново-подзолистых почв и оптимизация комплекса критически важных агрофизических и агрохимических свойств в условиях региона выступают одним из главных факторов повышения устойчивости функционирования земледелия Нечерноземной зоны России и снижения его метеозависимости с 19–24 % до 13–14 %. Уровень реализации биоклиматического потенциала может быть повышен за счёт окультуривания почвы – на 111-172 %, оптимизации её водного режима при переувлажнении – на 127-170 %, в условиях засухи – на 62-144 %, применения калийных удобрений – на 42-78 %, применения точных систем удобрения – на 78-95 %. Выраженным потенциалом депонирования углерода обладает комплекс мелиоративных агротехнологических средств, способствующих расширенному воспроизводству эффективного плодородия дерново-подзолистых почв.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва; плодородие; окультуривание; деградация; продуктивность; парниковые газы.

Тепловые и водные ресурсы земледелия, определяемые особенностями погодно-климатических условий – ведущий фактор, как продукционного процесса агроценозов, так и внутрипочвенных, и ландшафтных преобразований. Их пространственное распределение исторически предопределило географическое положение ос-

новных земледельческих регионов с выраженной спецификой почвенно-климатических и ландшафтно-экологических условий.

Гумидный климат Нечернозёмной зоны, отличающийся выраженным избытком водных ресурсов и определённым недостатком тепла при исключительной временной и пространственной неоднородности их распределения, в сочетании с низким уровнем плодородия дерново-подзолистых почв закрепил за регионом статус зоны «рискованного» земледелия [1,2]. Причём выраженные риски для успешной реализации амбициозных задач обновлённой Доктрины продовольственной безопасности РФ до 2030 г. [3] вследствие ошибочной агротехнологической политики быстро нарастают. Это связано и с ухудшением агромелиоративного состояния агроландшафтов (зарастание древесно-кустарниковой растительностью, переувлажнение и вторичное заболачивание земель) [4-6], и с доминированием процессов скрытой деградации эффективного плодородия почв [7-9], и, кончено, с резким обострением рисков погодно-климатических аномалий [10,11] при общем усилении гумидности регионального климата [1].

Последние являются вполне очевидным проявлением глобальных климатических изменений, заставляющих нашу страну не просто адаптировать все сферы жизнедеятельности к ним (Распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 № 3183-р «Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года»), но и принимать превентивные меры, в т.ч. в рамках ратифицированного в 2019 году Парижского соглашения по климату, сформулированные Правительством в Стратегии низкоуглеродного развития РФ на период до 2050 г. [12]. И, несмотря на то, что реальный вклад отечественного сельского хозяйства в общие выбросы парниковых газов нашей страной оценивается специалистами всего в 4,7 %, роль земледелия, составляющего важное звено в геохимическом цикле углерода невозможно переоценить. В этой связи, с одной стороны, возникает целый ряд вполне обоснованных опасений в связи с возможными

дополнительными обременениями для сельхозпроизводителей. А с другой, нельзя не заметить и ряд вполне очевидных положительных перспектив, стимулирующих научную и производственную сферу земледелия к инновационному развитию, в том числе и в связи с практикой квотирования выбросов углекислого газа, направленной на активизацию инвестиций в низко- и безуглеродный технологический переход. Обсуждению некоторых из них применительно к Нечерноземью и посвящена данная статья.

Методической основой представляемого исследования служили длительные полевые эксперименты в производственных севооборотах ряда сельскохозяйственных предприятий Северо-Запада России и многоуровневой системы стационарных полевых, в том числе ландшафтных, опытов на территории Псковской и Ленинградской областей [2,13].

Для теплозависимого региона, каким является Нечерноземье, общая закономерность роста теплообеспеченности (в среднем на 0,02°С в год) в последней четверти века в целом может оцениваться как положительная и даже желательная. Прямым следствием этого стало увеличение биоклиматического потенциала в среднем на 12 % [1]. Результаты исследований в годы с лучшими параметрами прихода тепла и солнечной энергии показывают, что повышение среднесуточный температуры вегетационного периода на 1°С относительно средней многолетней величины способствует увеличению продуктивности зерновых культур в среднем на 0,4-0,7, картофеля – на 6-11, однолетних и многолетних трав (с.в.) – на 0,5-0,7 т/га, овощных культур – на 6,4-9,8 т/га. Определённый положительный вклад (до 10-15 %) в увеличение продуктивности земледелия вносит и фактор повышения глобальной концентрации углекислого газа в приземном слое атмосферы с 0,033 до 0,044 %, обеспечивающий согласно модельным расчётам до 0,3 т/га з.ед. дополнительной продукции. Ключевым же условием для достижения такого результата в условиях региона является хорошо окультуренное состояние

эффективного плодородия дерново-подзолистой почвы в сочетании с относительно равномерным распределением осадков.

Негативный же вектор глобальных климатических изменений на региональном уровне выражается, в первую очередь, в резком повышении в 1,4-2,2 раза рисков (повторяемости) погодно-климатических аномалий, чреватых значимым недобором урожая или его потерями при уборке. Вероятность благоприятной погоды в начале вегетационного периода в настоящее время в регионе менее 10 %, а во второй его половине – менее 40 %. Повторяемость избыточных осадков с ливневым характером выпадения в период уборки урожая уже достигла 35 %.

Существенное повышение температуры в зимний период привело к заметному снижению глубины промерзания почвы (в среднем со 100-120 см до 45-70 см) и, как следствие, ограничению криогенного восстановления вертикального крупнопорового пространства, играющего важнейшую роль в формировании общей водопроницаемости почвенной тощи. Всё вышеперечисленное, а также последствия выпадения ливневых осадков не могли не оказать негативного влияния на эффективность работы осушительных систем.

Еще одним нежелательным последствием глобального потепления и роста гумидности климата является ожидаемое ускорение процессов скрытой деградации комплекса физико-химических, агрохимических и агрофизических свойств дерново-подзолистых почв. Так установленные в длительных полевых опытах и мониторинговых исследованиях среднегодовые темпы подкисления дерново-подзолистых почв в 0,02-0,03 ед. pH, дегумификации в 0,01-0,03 %, снижения содержания подвижных соединений фосфора на 4-8 и калия – на 10-20 мг/кг [7,14] по новейшим экспериментальным данным в условиях нарастания гумидности климата увеличатся в ближайшее время до 2 раз. Это вызвало снижение потенциальной продуктивности дерново-подзолистых почв активно используемых угодий с 3,7 до 1,8 т/га зерн.ед.

Утрата пахотным и подпахотными слоями почвы оснований (кальция и магния) ведет к постепенной перестройке и повышению миграционной способности коллоидного комплекса почвы. Переход даже части коллоидов в золеобразное состояние снижает адгезионную способность тончайших органических и органоминеральных плёнок на поверхности механических частиц почвы. В результате на фоне относительно стабильного содержания органического вещества в почве её структурное состояние может заметно ухудшиться. В условиях повсеместно распространённой комплексной деградации ухудшение параметров структуры и агрофизического состояния пахотного слоя почвы становится критическим. При этом негативно изменяется структура порового пространства, сокращается диапазон активной влаги, снижается водопроницаемость, уплотняется подпахотный горизонт и кальматируются водопроводящие поры вплоть до глубины 50–70 см. За три десятилетия неудобряемые хорошо окультуренные супесчаная и среднесуглинистая почвы длительных экспериментов устойчиво перешли в группу среднеокультуренных, а по ряду качественных характеристик достигли слабоокультуренного уровня. Так коэффициент структурности супесчаной и среднесуглинистой почвы снизился с 0,77-0,85 до 0,16-0,24 ед. Для перевода такой деградированной почвы в пластично-текучее состояние, которое не позволяет эффективно использовать сельскохозяйственную технику, требуется в среднем в 1,5–1,8 раза меньшее количество осадков. На фоне снижения в 3,5–4,8 раза (с 1,77-1,82 до 0,29-0,43) водопрочности структуры в пределах пахотного слоя почвы водопроницаемость в её отдельных горизонтах уменьшается в 1,3–2,7 раза. Прямым следствием этого стало существенное обострение рисков недобора урожая из-за переувлажнения почв на землях, которые ранее не испытывали таких негативных проявлений.

Фундаментальное значение для адаптации земледелия Нечерноземья к комплексу неблагоприятных факторов имеет окультуривание дерново-подзолистых почв, обоснованное воспроизводство

их плодородия и регулирование водного режима посредством мелиорации. Созданный к началу 90-х годов фонд окультуренных дерново-подзолистых почв (25 % пашни) на протяжении четверти века обеспечивал производство более 80 % товарной продукции земледелия региона. По данным длительных полевых опытов продуктивность полевых и овощных севооборотов на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах практически никогда не превышает 2 т/га зерновых единиц. По мере наращивания уровня плодородия и комплекса качественных показателей до состояния хорошей и высокой степени окультуренности их продуктивность увеличивается в 2,6-3,5 раза, а в сочетании с другими средствами управления продукционным процессом — в 3,4-5,2 раза (до 7-11 т/га з.ед.). При этом закономерно в 1,6 раза (с 19-24 до 13-14 %) снижается вклад погодно-климатических условий в вариабельность продуктивности севооборотов по годам, что важное значение высокого уровня эффективного плодородия почвы, как в повышении эффективности регионального земледелия, так и в обеспечении его устойчивости в условиях погодно-климатических флуктуаций и аномалий.

Обеспечить максимальную устойчивость продуктивности агроландшафтов в Нечерноземье позволяет мелиорация. Эффективная закрытая осушительная система КХ «Прометей» Гдовского района Псковской области в условиях критического переувлажнения в 2016–2017 гг. сократила прямые потери урожая клубней картофеля при уборке с 40 до 14%. В результате превосходство в фактической хозяйственной урожайности клубней за два года достигло 72 % при преимуществе в биологической продуктивности всего в 18 %. С учётом различной поражённости клубней возбудителями бактериоза и фитофтороза экономическая эффективность (рентабельность) возделывания культуры в пределах закрытой осушительной системы достигла 129 %. Даже краткосрочная оптимизация водного режима почвы (два умеренных полива) в критически засушливый период активного развития капусты белокочанной и моркови столо-

вой во время засух 2010 и 2011 гг. позволила повысить урожайность товарной продукции на 39–144% в варианте без применения удобрений и на 46–119% в варианте с точным внесением удобрений. При этом эффективность применения удобрений увеличилась в среднем в 1,6–2,6 раза. Урожайность кочанов капусты повысилась в условиях литогенной мозаики с 24,8 до 60,5 т/га, а корнеплодов моркови столовой – с 23,4 до 32,5 т/га. Математически точное формирование модельного эффективного плодородия почвы позволило снизить его пространственную дифференциацию в 1,5–3,9 раза, а вариабельность урожайности культур на фоне орошения – в 2,7 раза при достижении уровня продуктивности капусты и моркови в 114,3 и 85,2 т/га соответственно.

Сохранение и наращивание агроресурсного потенциала Нечерноземья в ближайшем десятилетии потребует достижения среднегодовых темпов освоения закустаренной залежи на площади в 300-400 тыс. га, капитального ремонта осушительных систем – до 300 тыс. га, реконструкции осушительных систем – до 100 тыс. га; химической мелиорации – до 5 млн. га. [15]. Одной из важных задач земледельческой науки при этом становится научное обеспечение успешного решения задач Доктрины продовольственной безопасности в рамках Стратегии низкоуглеродного технологического развития.

Поскольку значимо повлиять на круговорот воды, пары которой являются основным парниковым газом, практически невозможно, то в ограничительную сферу попадают в первую очередь углекислый газ, метан и оксиды азота с вкладом в остаточный парниковый эффект в 50, 19 и 5 % соответственно. Все они высокообъёмные компоненты биологического круговорота вещества, интенсификация которого и составляет геохимическую сущность сельскохозяйственного производства.

Данные мониторинговых исследований и модельных расчётов показывают, что при современной структуре сельскохозяйственных угодий и посевных площадей агроландшафты Нечерноземья депо-

нируют углекислый газ в количестве до 147 млн. т в год [1]. Масштабное освоение зарастающих древесно-кустарниковой растительностью сельскохозяйственных угодий со средним запасом надземной биомассы в 132 т/га [4] с использованием ранее принятых технологий её сведения формирует потенциал выбросов углекислого газа до 40-50 т/га. Сократить его возможную эмиссию на 80 % (до 10,3 т/га) позволяют низкоуглеродные технологии, предусматривающие предварительное получение из ДКР новых мелиорантов, в частности, биоугля [16]. При этом обязательным условием его экономически и экологически эффективного применения в дерново-подзолистые почвы является сочетание с комплексом традиционных известковых мелиорантов и птичьего помёта. Их совместное применение повысило продуктивность травяного звена севооборота на 28 %, улучшило комплекс агрохимических свойств почвы и качественных показателей сырья для производства кормов. Достоверные эффекты их аддитивного действия выразились в снижении относительно контрольного варианта $Н_{г.}$ – на 56 %, $Al_{подв.}$ – на 68 % и в повышении pH_{KCl} на 34 %, $S_{обм.}$ – на 92 %, $V_{осн.}$ – на 60 %, содержания органического вещества на 45 %, $N_{лг.}$ – на 38 %, $N_{подв.}$ – на 45 %, $P_2O_{5подв.}$ – на 182 % и подвижности фосфатов – на 82 %).

Биоуглевое направление преобразования многообразных органических отходов обладает значимым потенциалом ограничения биологического круговорота углерода и повышения эффективного плодородия дерново-подзолистых почв. В Агрофизическом НИИ многолетними исследованиями убедительно доказана положительная роль биоугля в снижении эмиссии из почвы закиси азота [17,18].

Полевые экспериментальные данные показывают, что даже при гиперинтенсивном применении органических удобрений при восстановительном окультуривании дерново-подзолистой почвы, влекущем быстрое увеличение её биологической активности параметры удельной (в расчёте на единицу продукции) эмиссии сокращаются в 1,2-1,5 раза. Основным фактором здесь выступает интенси-

фикация фотосинтеза и формирование в 3-5 раз более высокого урожая сельскохозяйственных культур, влекущее за собой дополнительное связывание углекислого газа и выделение кислорода.

В этом контексте ожидаемые положительные эффекты от реализации Стратегии низкоуглеродного развития страны мы так же связываем также с обоснованным решением проблемы эффективного использования ресурсов органических отходов на удобрение. Одним из вопиющих её проявлений является пример весьма преуспевающей отрасли птицеводства в Ленинградской области, обеспечивающей среднегодовой выход птичьего помёта на уровне 0,8-1,1 млн. т и ничтожный 10-16 %-ый уровень его дальнейшего хозяйственного использования. Общий среднегодовой выход неиспользуемых на удобрение питательных веществ достигает по азоту – 18, фосфору – 15, кальцию – 18, калию – 8, магнию – 5 тыс. т (41 тыс. т NPK и 23 тыс. т CaO и MgO). Это в 12 раз больше, чем ежегодно приобретается и вносится в почву NPK в составе минеральных удобрений (3,5 тыс. т NPK) и в 9 раз больше кальция и магния, чем применяется в составе доломитовой муки (2,5 тыс. т CaO и MgO) на известкование кислых почв. Исходя из установленных в полевых исследованиях нормативов окупаемости питательных веществ птичьего помёта [19], совокупный недобор урожая сельскохозяйственной продукции из-за его ненадлежащего использования в Ленинградской области оценивается в 368-656 тыс. т зерновых единиц. Исходя их геохимических особенностей минерализации птичьего помёта на поверхности земли, среднегодовые немотивированные выбросы углекислого газа из неиспользуемой части птичьего помёта оцениваются в 268-460 тыс. т, а с учётом многолетнего накопления – более 1 млн. т. При правильном использовании ресурсов птичьего помёта на удобрение их потенциал может быть сокращён до 3,5-4 раза, а с учётом активизации фотосинтеза – еще более существенно.

Очевидно, значимое внимание должна привлечь и проблема правильного использования жидких видов навоза – основного отхода высокотоварного животноводства промышленного типа.

Внимание агрохимической науки должно быть так же прикована и к преодолению сложившегося стереотипа мнимой негативной роли известкования в активизации эмиссии углекислого газа в атмосферу. Примитивный взгляд на известкование с позиций химической реакции между известью и сильной кислотой не имеет практически ничего общего с реальными внутрипочвенными физико-химическими процессами. Вопреки желаниям земледельца львиная доля углекислоты не десорбируется из почвы в атмосферу, а уносится фильтрующимися водами в составе гидрокарбоната кальция в грунтовые воды. Именно по этой причине среднегодовые инфильтрационные потери кальция и магния могут достигать 200-300 и более кг. В результате вместо теоретически возможного выделения в атмосферу при нейтрализации 1 т извести 440 кг углекислого газа, реально дополнительно выделяется не более 40 кг. 400 кг углекислого газа в форме углекислоты из извести связывают такое же количество углекислоты из почвы образуя, вымываемый из неё гидрокарбонат кальция. То-есть, полное взаимодействие 1 т извести с кислой почвой вызывает не усиление эмиссии, а связывание, чистое нетто-депонирование углекислого газа в размере 0,36 т. Если при этом учесть и положительную роль извести в усилении фотосинтеза, то общий природосберегающий вклад известкования в извлечение из воздуха углекислого газа может быть оценен в 0,56 т CO_2 на 1 т применённого известкового мелиоранта. Конечно, здесь речи не идёт о прямом поглощении почвой углекислого газа из воздуха, а лишь о той его части (образующейся при дыхании), что была усвоена в процессе фотосинтеза высшими растениями и попала в почву.

Таким образом, современные погодно-климатические и хозяйственно-экономические условия Нечерноземья способствуют постепенному росту потерь питательных веществ и скрытой деграда-

ции комплекса важнейших агропроизводственных свойств дерново-подзолистых почв. Окультуривание пахотных дерново-подзолистых почв и оптимизация комплекса критически важных качественных показателей агрофизических и агрохимических свойств в условиях региона выступают одним из главных факторов повышения устойчивости функционирования агроландшафтов в условиях Нечерноземной зоны России и снижения её метеозависимости с 19–24 % до 13–14 %. Уровень реализации биоклиматического потенциала картофелем и овощными культурами может быть повышен за счёт окультуривания дерново-подзолистой почвы – на 111-172 %, оптимизации водного режима почвы при переувлажнении – на 127-170 %, в условиях засухи – на 62-144 %, применения калийных удобрений – на 42-78 %, применения точных систем удобрения – на 78-95 % к неудобренному фону и на 6-17 % – к равномерно удобренному.

Принятая Стратегия низкоуглеродного развития страны должна способствовать не только адаптации земледелия к глобальным климатическим изменениям, но и преодолению ряда проблем в области управления эффективным плодородием дерново-подзолистых почв региона и его научного обеспечения.

Литература

1. Иванов А.Л, Петриков А.В., Кирюшин В.И. и др. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2021. 400 с.

2. Иванов А.И., Конашенков А.А., Иванова Ж.А., Воробьёв В.А., Фесенко М.А., Данилова Т.А., Филиппов П.А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35-44.

3. Иванов А.И., Янко Ю.Г. Мелиорация как необходимое средство развития сельского хозяйства Нечернозёмной зоны России // Агрофизика. 2019. № 1. С. 67-78.

4. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Рижия Е.Я., Архипов М.В., Соколов И.В., Вязовский А.А. Эффективность вторичного освоения кормовых угодий в условиях Тосненской низины // Земледелие. 2019. № 3. С. 7-11.

5. Иванов А.И., Гулюк Г.Г., Янко Ю.Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 3. С. 5-13.

6. Сычёв В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: Изд. РАН, 2015. 328 с.

7. Иванов А.И., Конашенков А.А., Воробьев В.А., Иванова Ж.А., Вязовский А.А., Петров И.И. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья // Агрохимический вестник. 2019. № 6. С. 3-9.

8. Сычёв В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13.

9. Усков И.Б., Усков А.О. Основы адаптации земледелия к изменениям климата. СПб. 2014. 383 с.

10. Иванов А.И., Конашенков А.А. Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодно-климатических аномалий: проблемы и решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. № 5. С. 32-37.

11. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации до 2030 года. М. 2020. 19 с.

12. Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. М. 2021. 68 с.

13. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Конашенков А.А., Филиппов П.А. Особенности методологии полевых исследований на современном этапе // Агрофизика. 2017. № 2. С. 9-19.

14. Aleksey I. Ivanov, Zhanna A. Ivanova. Methodology of the Agrophysical Institute’s Modern System of Field Experiments / Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Chapter 26. P. 529-546.

15. Дубенок Н.Н., Иванов А.И., Чесноков Ю.В., Янко Ю.Г. Актуальные вопросы научного и кадрового обеспечения развития мелиорации в Нечерноземье // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 14-19.

16. Иванов А.И., Иванова Ж.А., Соколов И.В., Вязовский А.А. Биоуголь в технологиях освоения закустаренной залежи // Агрохимический

вестник. 2020. № 2. С. 21-26.

17. Рижия Е.Я., Мухина И.М., Вертебный В.Е., Хорак Я., Конончук П.Ю., Хомяков Ю.В. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 464-470.

18. Рижия Е.Я., Мухина И.М., Бучкина Н.П., Балашов Е.В. Управление прямой эмиссией закиси азота в системах земледелия / Реализация методологических и методических идей профессора Б.А. Доспехова в совершенствовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. М.: РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017. С. 190-194.

19. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта. Под общей редакцией А.И. Иванова и В.В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.

TOPICAL ISSUES OF LOW-CARBON DEVELOPMENT OF AGRICULTURE IN THE NON-CHERNOZEM REGION AND ITS ADAPTATION TO GLOBAL CLIMATE CHANGE

Ivanov A.I., Ivanova Zh.A.
FGBNU "Agrophysical Research Institute",
St. Petersburg, ivanovai2009@yandex.ru

Annotation. The cultivation of arable sod-podzolic soils and the optimization of a complex of critically important agrophysical and agrochemical properties in the conditions of the region are one of the main factors in increasing the stability of the functioning of agriculture in the Non-Chernozem zone of Russia and reducing its weather dependence from 19-24% to 13-14%. The level of realization of the bioclimatic potential can be increased by cultivating the soil – by 111-172%, optimizing its water regime during waterlogging – by 127-170%, in drought conditions – by 62-144%, the use of potash fertilizers – by 42-78%, the use of precise fertilizer systems – by 78-95%. A complex of reclamation agrotechnological means contributing to the expanded reproduction of effective fertility of sod-podzolic soils has a pronounced potential for carbon deposition.

Keywords: sod-podzolic soil; fertility; cultivation; degradation; productivity; greenhouse gases

УДК 631.8:631.417.2

ДЛИТЕЛЬНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ С ОРГАНИЧЕСКИМИ УДОБРЕНИЯМИ: ЗНАЧЕНИЕ, РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

С.М. Лукин

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал ФГБНУ "Верхневолжский федеральный аграрный центр"

Владимирская область, п. Вяткино, , e-mail: vnion@vtsnet.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований по сравнительной эффективности органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения в длительном стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве. Установлено, что при длительном применении удобрений происходит увеличение их долевого участия в формировании урожая и оплаты удобрений прибавкой урожая. При этом основные агрохимические показатели почвы стабилизируются на новых уровнях, соответствующих поступлению органического вещества и питательных веществ с органическими и минеральными удобрениями и выносу их урожаем культур.

Ключевые слова. Длительные стационарные полевые опыты, система удобрения, органические удобрения, минеральные удобрения, дерново-подзолистые почвы

Одной из важнейших проблем при разработке систем применения удобрений в условиях Нечерноземной зоны является проведение сравнительной оценки различных систем удобрения и определение оптимального соотношения органических и минеральных удобрений в севооборотах различной специализации.

Впервые на необходимость сравнительного изучения органических и минеральных удобрений указал Д.Н. Прянишников после посещения им в 1927 г. Асковской опытной станции в Дании. Анализируя имеющиеся к тому времени отечественные опыты, он от-

мечал, что «большое число опытов, проведенных у нас на тему «Сравнение действия навоза и минеральных удобрений», не соответствуют такому заглавию», так как варианты с навозом и минеральными удобрениями не были выровнены по количеству питательных веществ, а имеющиеся сведения о доминировании роли органического вещества навоза над азотом, фосфором и калием, ошибочны» [1, стр. 538].

В опыте Мироновской опытной станции, который в методическом отношении более других отвечал необходимым требованиям, урожайность всех культур севооборота, за исключением озимой пшеницы, по навозному и минеральному удобрению была примерно одинаковой. Не было выявлено преимущества органической системы удобрения перед минеральной и в опытах Асковской опытной станции, варианты которых более выровнены по элементам минерального питания. Более того, «в датских опытах не только не оказалось никакого положительного влияния от внесения органического вещества (навоза), но скорее оно играло роль отрицательного фактора, вследствие малой доступности азота, в нем содержащегося» [1, стр. 546].

В проведенных в 1930-1960 гг. опытах на Долгопрудной опытной станции (дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы), во ВНИИ льна (дерново-подзолистые среднесуглинистые), Институте картофельного хозяйства (дерново-подзолистые супесчаные), Новозыбковской опытной станции (дерново-подзолистые песчаные), ВНИИ лубяных культур (серые лесные) и других, были получены сходные результаты, что позволило Л.С. Любарской [2] сделать заключение о равнозначности органической и минеральной систем удобрения и отсутствии влияния органического вещества навоза на урожай культур.

Однако, если более критически подходить к оценке результатов этих опытов, то можно видеть, что они позволяют определить только доступность питательных веществ навоза, но не роль органического вещества в плодородии почв. Более правильным было бы оценивать действие органического вещества навоза при сопостав-

лении урожаев сельскохозяйственных культур, полученных по органоминеральной и минеральной системах удобрения, выровненных по элементам минерального питания, так как в этом случае устранялся бы дефицит минерального азота в начале вегетации, наблюдающийся при использовании органических удобрений [3].

В этой связи по инициативе ВИУА в 60-е годы прошлого века во многих научно-исследовательских учреждениях были заложены длительные стационарные опыты по сравнительной оценке различных систем применения удобрений: органической, органоминеральной и минеральной, в зависимости от уровня минерального питания, соотношения органических и минеральных удобрений, структуры севооборота, типа и гранулометрического состава почвы и других факторов. В задачу этих опытов входило изучение влияния длительного применения систем удобрения на показатели почвенного плодородия и продуктивность агроценозов, качество урожая, доступность питательных веществ, коэффициенты их использования растениями, круговорот и баланс элементов в системе почва – удобрение – растение.

Первое, наиболее обстоятельное, обобщение результатов опытов по эффективности сочетания навоза и минеральных удобрений было сделано И.П. Мамченковым и В.А Васильевым [4]. На основе данных 44 отечественных и зарубежных опытов (105 ротаций) ими было показано, что прибавка урожая от сочетания половинных доз навоза и минеральных удобрений по сравнению с раздельным внесением составляет 1,2 ц з.е./га или 11 %, в том числе на легких дерново-подзолистых почвах 1,9 ц з.е./га (23 %), тяжело и среднесуглинистых – 1,2 ц з.е./га (8 %), черноземах – 0,4 ц з.е (5 %). Количество опытов, в которых при сочетании навоза и минеральных удобрений вносили такое же количество питательных веществ, как и при раздельном внесении составило всего 16, в том числе на легких почвах – 6. В этих опытах прибавка урожая от органического вещества навоза составила 1,7 ц з.е./га или 19 % прибавки урожая.

На современном этапе основным требованием к системе удобрения сельскохозяйственных культур является повышение окупаемости удобрений прибавкой урожая, снижение затрат на их применение и эффективное использование достигнутого потенциала почвенного плодородия. В связи с резким удорожанием минеральных удобрений возрастает роль органических удобрений, позволяющих реутилизировать питательные вещества почвы и удобрений, содержащиеся в кормах, а также биологический азот, накопленный бобовыми культурами. В последние годы во многих странах мира получают все большее распространение технологии органического земледелия [5], однако в нашей стране они пока не получили научной оценки. Ожидаемое потепление климата вызывает необходимость оптимизации систем удобрения с целью обеспечения устойчивости урожаев сельскохозяйственных культур при резком изменении погодных условий.

Поэтому, несмотря на давность исследований по сравнительной оценке систем удобрения, эта проблема является актуальной и в настоящее время. При этом важнейшими задачами исследований являются:

- выявление роли органического вещества в системах применения удобрений и плодородии почв;
- оценка доступности питательных веществ различных видов органических удобрений в сравнении с минеральными удобрениями;
- определение эффективности органических и минеральных удобрений в зависимости от специализации севооборотов;
- оценка изменения эффективности систем удобрения во времени, влияния их на плодородие почв и окружающую среду;
- оценка эффективности систем удобрения в зависимости от погодных условий, а также при сочетании с другими средствами химизации.

Исследования выполнены в длительном стационарном опыте института, заложенном в 1968 году на дерново-подзолистой супесчаной почве в полевом севообороте однолетний люпин-озимая пшеница-картофель – ячмень. Схема опыта: 1. Без удобрений;

2. P50K60; 3. N50P50; 4. N50K60; 5. N50P50K60; 6. Навоз 10 т/га; 7. Навоз 20 т/га; 8. N50P25K60; 9. N50P50K90; 10. Навоз 5 т/га + N25P12K30; 11. Навоз 10 т/га + N50; 12. Навоз 10 т/га + N50P25; 13. Навоз 10 т/га + N50P25K60; 14. N100P50K120; 15. N50P25K60; 16. Навоз 10 т/га + N100P50K120. В 1984-1989 гг. изучалось последействие удобрений. В 1990 г. в схему опыта были внесены изменения: в варианте 11 стали вносить навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома; в варианте 12 – навоз 10 т/га + N50P25K60 + солома + сидерат; 15 – N50P25K60 + солома. Начиная с 2002 г., в варианте 11 используется N100P50K120 + солома; в варианте 12 изучается последействие удобрений на фоне без удобрений и N50. Остальные варианты сохраняются без изменений с 1968 года. Варианты 6, 8, 10 и 7, 13, 14 выровнены по количеству питательных веществ в дозах, эквивалентных, соответственно, 10 и 20 т/га навоза. Повторность в опыте – 4-х кратная, в контрольных вариантах – 8 кратная, размер делянок – 161 м^2. До 1975 года опыт проводился в 4-х полях, в 1976-1984 гг. – в трех полях, начиная с 1990 года опыт проводится в двух полях. Почва– дерново-сильноподзолистая тяжелосупесчаная, слабоглееватая, подстилаемая с глубины 40-50 см моренным суглинком. Свойства почвы перед закладкой опыта: pH 6,2-6,5 (на третьем поле без извести – 4,1), гидролитическая кислотность 1,0-2,2 мг-экв./100 г (на третьем поле 3,7-4,1), сумма поглощенных оснований 4,8-5,3 мг-экв./100 г (на третьем поле –1,4), P_2O_5 – 14-25, K_2O – 63-104 мг/кг, содержание гумуса 1,05-1,17 % [7].

Анализ данных длительного стационарного опыта показал, что эффективность систем удобрения зависела от вида культур и доз внесения удобрений. При умеренных дозах органическая система удобрения по действию на урожай уступала минеральной, особенно на зерновых, где это снижение было статистически значимым. При использовании удобрений в повышенных дозах отчетливо выявляется преимущество органоминеральной системы удобрения. Прибавка урожая от сочетания навоза и минеральных удобрений была выше, по сравнению с органической системой удобрения, на 6,4 ц

з.ед./га, по сравнению с минеральной – на 1,1 ц з.ед./га. Увеличение доз удобрений с 270 до 405 кг NPK не приводило к существенному росту продуктивности севооборота (табл.1).

1. Влияние различных систем удобрения на урожайность сельскохозяйственных культур (в среднем за 1968-2018 гг.)

Вариант	Культуры, ц/га				Продуктивность севооборота в среднем*, ц з.е./га	Прибавка урожая ц.з.е./га	
	Одн. люпин, з/м	Озимая пшеница	Картофель	Ячмень		ц.з.е./га	%
Без удобрений	196	19,3	100	11,3	21,5		
Навоз 10 т/га	220	26,3	149	17,3	29,6	8,1	38
Навоз 5 т/га + N25P12K30	226	29,1	171	22,7	34,0	12,5	58
N50P25K60	225	28,8	176	25,0	34,6	13,1	61
Навоз 20 т/га	229	29,2	173	20,8	33,2	11,7	54
Навоз 10 т/га + N50P25K60	236	30,0	215	28,8	39,6	18,1	84
N100P50K120	241	28,8	204	27,8	38,5	17,0	79
Навоз 10 т/га + N100P50K120	251	29,8	228	29,0	41,1	19,6	91

НСР 0.95, ц/га 1.3

**с учетом побочной продукции*

В результате сочетания органических и минеральных удобрений в большей степени повышалась эффективность органических удобрений, по сравнению с минеральными. Так, если бы органические и минеральные удобрения вносились раздельно, средняя прибавка урожая составила бы 10,7ц з.ед./га при умеренных дозах и 14,4ц з.ед./га при повышенных дозах удобрений. При использовании органо-минеральной системы удобрения прибавка урожая составила 12,5 и 18,1 ц з.ед./га или на 17-26 % больше (табл.2).

Как показали результаты опыта, отказ от использования минеральных удобрений и переход полностью на органическую систему удобрения, неблагоприятно сказывается, в первую очередь, на уро-

жайности яровых зерновых культур. При этом суммарная продуктивность севооборота может снизиться, по сравнению с органоминеральной системой удобрения, на 4,4-6,4 ц з.ед./га, а урожайность яровых зерновых культур – в 1,8 раза (табл.3).

2. Эффективность сочетания органических и минеральных удобрений в сравнении с их раздельным внесением (в среднем за 11 ротаций севооборота), ц з.ед./га

Уровень удобренности	Продуктивность севооборота без удобрений	Прибавка урожая				Увеличение прибавки от сочетания, %
		от раздельного внесения			от сочетания ½ навоза + ½ NPK	
		навоз	NPK	в среднем		
N50P25K60	21,5	8,2	13,1	10,7	12,5	17
N100P50K120	21,5	11,7	17,0	14,4	18,1	26

3.Соотношение размеров прибавок урожая от органических и минеральных удобрений (минеральные удобрения 100 %)

Уровень удобренности	Однолетний люпин	Озимая пшеница	Картофель	Ячмень	В среднем по севообороту
N50P25K60	83	73	64	53	62
N100P50K120	73	104	70	58	69

Одной из основных причин более низкой эффективности органической системы удобрения, по сравнению с минеральной, является меньшая доступность азота навоза для растений. При этом в наибольшей степени дефицит азота проявлялся на зерновых культурах. Устранение дефицита минерального азота за счет внесения азотных удобрений на фоне навоза позволило получить почти такие же урожаи сельскохозяйственных культур, как и при внесении полного минерального удобрения (табл. 4).

Анализ изменения продуктивности севооборота во времени показывает, что длительное возделывание сельскохозяйственных культур без использования органических и минеральных удобрений постепенно ведет к снижению продуктивности посевов и, соответственно, к увеличению окупаемости удобрений прибавкой урожая. Наибольшая оплата 1 кг удобрений урожаем (9,3 кг з.е.) получена

при использовании их в умеренных дозах (навоз 5 т/га + N25P12K30).

4. Эффективность сочетания навоза с минеральными удобрениями (в среднем за 4 ротации севооборота)

Варианты опыта	Однолетний люпин	Озимая пшеница	Картофель	Ячмень	В среднем по севообороту, ц з.е./га
Без удобрений	230	18,3	152	12,3	25,1
Навоз 10 т/га	245	24,9	231	18,1	34,6
Навоз 10 т/га + N50	244	28,6	266	22,7	39,7
Навоз 10 т/га + N50P25	248	28,6	268	23,3	40,2
Навоз 10 т/га + N50P25K60	249	29,1	272	24,0	40,6

За время проведения опыта (50 лет) содержание гумуса в почве контрольного варианта снизилось на 0,17 % или на 16 % от первоначальных запасов, при этом наибольшие изменения в гумусовом состоянии почв происходили в первые годы проведения опыта. В конце второй – третьей ротации севооборота содержание гумуса стабилизировалось на новых уровнях, соответствующих поступлению органического вещества с растительными остатками и органическими удобрениями и его минерализации. Аналогичная закономерность наблюдается в отношении обменного калия. При использовании низких доз фосфора с удобрениями, начиная с 4-ой ротации севооборота отмечалась стабилизация его содержания в почве на уровне 42-55 мг/100 г. При применении более высоких доз содержание фосфора в почве продолжает увеличиваться, хотя и более медленными темпами, чем в начале проведения опыта.

Длительные стационарные опыты являются уникальной научной базой исследований почвенных процессов, экологических проблем в земледелии, в том числе воздействия глобального изменения климата на плодородие почвы и продуктивность земледелия. Перспективными направлениями исследований в длительных опытах являются:

1. Исследование круговорота и трансформации органического вещества и биогенных элементов в агроценозах в зависимости от

уровня интенсификации земледелия и длительности сельскохозяйственного использования почв.

2. Разработка моделей продуктивности посевов и динамики изменения агрохимических свойств почв при длительном применении органических, минеральных удобрений, биоресурсов в условиях изменения климата.

3. Совершенствование дистанционных методов диагностики питания растений.

4. Проведение исследований по сравнительной оценке различных систем земледелия: органического, интенсивного, интегрированного.

5. Совершенствование моделей динамики содержания гумуса и биогенных элементов в почве при длительном применении удобрений, растительных остатков и сидератов в условиях изменения климата.

6. Важное значение имеют исследования по мониторингу эмиссии парниковых газов при сельскохозяйственном использовании почв, использовании различных технологий возделывания сельскохозяйственных культур; разработке методологии и нормативной базы для инвентаризации парниковых газов; разработке технологий, направленных на сокращение эмиссий и депонирование углерода в природных и антропогенно-измененных экосистемах; разработке технологий адаптации отраслей растениеводства и животноводства к изменению климата.

7. Оценка коэффициентов использования и трансформации элементов питания растений в почвах различной степени окультуренности с использованием стабильных изотопов.

8. Для проведения точных балансовых исследований крайне необходима организация лизиметрических исследований в опытах, а также автоматическая регистрация метеорологических параметров, уровня увлажнения, температуры почвы, динамики выделения парниковых газов.

Литература

1. Прянишников Д.Н., Избранные сочинения М., 1965, т.3. 639 с.

2. Любарская Л.С. Некоторые вопросы системы удобрения в севообороте // Методические указания по географической сети опытов с удобрениями, вып. 15. – М.: ВИУА, 1969. С. 40-58.

3. Мамченков И.П., Мирошникова Л.С., Сунцов А.А. Органические удобрения как фактор повышения плодородия почв // Органические удобрения (Материалы научно-методического совещания стран-участниц СЭВ, состоявшегося в Москве 1-6 июля 1970). – М.: ВИУА, 1972. С. 7-16.

4. Мамченков И.П., Васильев В.А. Эффективность сочетания навоза и минеральных удобрений в севооборотах // Органические удобрения (Материалы научно-методического совещания стран-участниц СЭВ, состоявшегося в Москве 1-6 июля 1970). – М.: ВИУА, 1972. С. 267-284.

5. Горчаков Я.В., Дурманов Д.Н. Мировое органическое земледелие и климат XXI века. – М.: Из-во РУДН, 2002. – 400 с.

6. Лукин С.М., Марчук Е.В., Золкина Е.И. Продуктивность зернопропашного севооборота при длительном применении различных систем удобрения на дерново-подзолистой супесчаной почве // Агрохимия. – 2018, № 2 С. 71-78.

LONG-TERM STATIONARY FIELD EXPERIMENTS WITH ORGANIC FERTILIZERS: THE ROLE, RESULTS AND PERSPECTIVES OF RESEARCH ON SODDY-PODZOLIC SOILS

Lukin S.M.

All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Upper Volga Federal Agrarian Center"
Vladimir Region, Vyatkino settlement, e-mail: vnion@vtsnet.ru

Annotation. The results of studies on the comparative effectiveness of organic, organic-mineral and mineral fertilizer systems in a long-term stationary field experiment on soddy-podzolic sandy loam soil are presented. It has been established that with long use of fertilizers, their share in the formation of the crop and the payment of fertilizers with an increase in yield increases. At the same time, the main agrochemical indicators of the soil are stabilized at new levels corresponding to the intake of organic matter and nutrients with organic and mineral fertilizers and their removal by the crop yield.

Keywords Long-term field experiments, fertilizers system, organic fertilizers, mineral fertilizers, soddy-podzolic soils.

УДК 631.81:635.1

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В 14- И 15-Й РОТАЦИЯХ ОВОЩНОГО СЕВООБОРОТА

С.М. Надежкин[1], М.Ю. Маркарова[1], Е.В. Воронкин [2]

[1] Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный центр овощеводства (ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Одинцовский р-н, пос. ВНИИССОК

[2]Западно-сибирская овощная опытная станция (ЗСООС) – филиал ФГБНУ ФНЦО, г.Барнаул, nadegs@yandex.ru

Аннотация. В многолетнем опыте с различными системами удобрения на черноземе выщелоченном проведена сравнительная оценка их влияния на урожайность и качество культур огурца, томата и капусты белокочанной, показатели плодородия, микробиологическое состояние почвы, рассчитана экономическая эффективность при выращивании различных овощных культур.

Ключевые слова: чернозем; плодородие; урожайность; биохимический состав овощей; микробиом почвы.

Введение

Использование новых сортов и гибридов овощных культур, дающих высокие урожаи при благоприятных погодных условиях, или при использовании орошения, предполагает использование значительного количества удобрений. Длительное (более 20 лет) применение удобрений оптимизирует агрохимические свойства черноземных почв. Минеральные удобрения, как правило, повышают содержание в почве нитратного и аммонийного азот [1, 2, 3]. Под влиянием систематического применения удобрений увеличение содержания подвижных форм P_2O_5 на черноземных почвах выражено сильнее, чем увеличение его валового количества [8].

Систематическое внесение калийных удобрений способствует накоплению обменного калия в виде остаточных форм [7].

Длительное использование азотных и фосфорных удобрений чаще всего приводит к снижению содержания подвижных форм калия [5]. Исключение калия из системы удобрения приводит к снижению плодородия по калию даже таких высоко обеспеченных этим элементом почв, как черноземы [9]. Краткосрочное применение удобрений, как правило, повышает содержание обменного K_2O в почве [6,10]. При среднем сроке применения удобрений происходило накопление K_2O в необменном состоянии, и его содержание в доступной растениям форме увеличиваюсь слабо. Длительное использование удобрений способствовало накоплению малодоступных для растений форм элемента [4].

Длительные опыты с внесением удобрений в стационарных севооборотах позволяют разработать объективные научные принципы построения систем удобрения, получить максимальную продуктивность овощных культур и обеспечить наибольшую агроэкономическую эффективность удобрений. Обобщение данных многолетних опытов в системе Географической сети позволяет на строго объективной научной основе подойти к разработке научных принципов построения системы удобрения в севообороте с учетом зональных особенностей.

Цель исследований – выявление наиболее рациональной системы удобрения овощных культур, установление действия и последействия органических удобрений в севообороте

Методы исследования

Исследования проводились на Западно-Сибирской овощной опытной станции (ЗСООС) – филиале ФГБНУ ФНЦО (Алтайский край) в открытом грунте в полевом опыте, заложенном в 1942 г, с использованием общепринятых методик проведения полевых опытов.

Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый иловато – пылеватый с реакцией почвенного раствора, близкого к нейтральной. Агротехника возделывания овощных культур и картофеля – общепринятая в регионе. Обработка почвы заключалась в проведении послеуборочного дискования, зяблевой вспашки на глубину 25-

27 см, ранневесеннего боронования в 2 следа, внесения минеральных и органических удобрений согласно схеме и повторной перепашки на 20-22 см или культивации с целью заделки удобрений.

Из минеральных удобрений вносили аммиачную селитру 34,4%, суперфосфат двойной гранулированный (P_2O_5) 44%, и сульфат калия (K_2O – 50%), в качестве органических удобрений (ОУ) использовали торфопомётный компост со средним содержанием $N0_3$ – 1,17%, P_20_5-0,475, K_2 0-0,48%. Опыт проведён в пятипольном овощном севообороте. Чередование культур в севообороте: томат, капуста, морковь, картофель, огурец. Повторность опыта четырехкратная, общая площадь делянок 169 м^2, учётная – 30 м^2.

Схема опыта (количество удобрений, внесенных за ротацию севооборота на 1 га севооборотной пашни под культурами следующее:

1. Без удобрения (контроль); 2. $N_{60}P_{90}K_{60}$; 3. $N_{60}K_{60}$; 4. $P_{90}K_{60}$; 5.$N_{90}P_{135}K_{90}$; 6. Органические удобрения 22 т/га; 7. Органические удобрения 22 т/га + $N_{60}P_{90}K_{60}$;8. Последействие удобрений; 9. N_{60} P_{90}.

Результаты исследований

Перед закладкой опыта (в 1942 г.) содержание гумуса на опытном участке в слое почвы 0-20 см составляло 5,08%. Результаты наших исследований показали, что экстенсивное использование чернозема выщелоченного в течение 75 лет приводит к снижению содержания гумуса в пахотном (0-20 см) слое почвы, в среднем по двум полям, на 1,32% (табл. 1). Даже в сравнении с 1968 г., когда была принята существующая в настоящее время система удобрения в севообороте, содержание гумуса на контрольном варианте снизилось на 0,36%.

Использование минеральных удобрений в парных сочетаниях (PK, NP, NK) и в виде полного минерального удобрения в одинарной норме (NPK) не оказывало существенного влияния на содержание гумуса.

Систематическое применение органических удобрений из расчета 32 т на 1 га севооборотной пашни способствовало росту содержания гумуса на 0,0,69-1,27%, в зависимости от поля (+0,98% в

среднем по двум полям). При этом большие положительные изменения характерны для первого поля, где в пахотном слое прирост гумусированности составил 1,27%, в подпахотном – 1,5%. Добавление к органическим удобрениям $N_{56}P_{81}K_{66}$ ежегодно не оказывало существенного влияния на содержание гумуса.

1. Влияние длительного применения удобрений на содержание гумуса в черноземе выщелоченном, %, 0-20 см [7]

Вариант	Поле 1, 2017 г.	Поле 8, 2018 г.	Среднее по 2-м полям	± к контролю
1. Без удобрений	3,69	3,82	3,76	-
2. $N_{56}P_{81}K_{66}$	3,94	4,13	4,04	+0,28
3. $N_{56}K_{66}$	3,98	3,77	3,88	+0,12
4. $P_{81}K_{60}$	4,00	4,12	4,06	+0,30
5. $N_{84}P_{121}K_{99}$	4,17	4,33	4,25	+0,49
6. ОУ 32 т/га	4,96	4,51	4,74	+0,98
7. ОУ 32 т/га + $N_{56}P_{81}K_{66}$	4,99	4,76	4,88	+1,12
8. Последействие удобрений*	4,25	4,31	4,28	+0,52
9. $N_{56}P_{81}$	3,97	3,95	3,96	+0,20
$НСР_{05}$	0,33	0,35	0,36	

Следует особо подчеркнуть высокое последействие удобрений, внесенных в период 1942-1968 гг. – положительное влияние на содержание гумуса сохранилось на протяжении 50 лет, превысив контрольный вариант на 0,52%.

Использование органо-минеральной системы удобрения в опыте ВНИИСС, заложенном в 1936 способствовало росту органического углерода в сравнении с исходным уровнем на 0,23%, а в сравнении с контролем – на 0,93% [4].

Система удобрения существенно отразилась на микробиоме почвы. Численность ассоциативных азотфиксаторов в вариантах без азотных удобрений была в 4-10 раз выше чем с внесением азо-

та. Это свидетельствует о том, что в почве проходят процессы биологического регулирования азота и его недостаток почвенная микрофлора компенсирует увеличением почвенной азотфиксации и снижением процессов нитрификации (табл. 2).

2. Численность основных трофических групп почвенной микробиоты в почве опыта, 2021 г.

Варианты опыта	Аммонификаторы	Нитрификаторы	Асс. Азотфиксаторы	Целлюлозоразрушающие
	млн. 1 г в.с.п			тыс., 1 г в.с.п.
1. Без удобрений	20	120	65	12
2. $N_{56}P_{81}K_{66}$	75	350	20	65
3. $N_{56}K_{66}$	55	300	15	44
4. $P_{81}K_{60}$	85	150	120	55
5. $N_{84}P_{121}K_{99}$	170	450	10	95
6. ОУ 32 т/га	220	120	100	250
7. ОУ 32 т/га + $N_{56}P_{81}K_{66}$	350	380	75	430
8. Последействие удобрений*	35	55	150	99
9. $N_{56}P_{81}$	45	320	25	68

Самой высокой азотфиксирующей активностью характеризовался вариант последействия удобрений. На нитрифицирующую активность повлияло внесение азотных удобрений, в вариантах с его применением она была в 2-3 раза выше, чем в остальных. На концентрацию в почве аммонифицирующих микроорганизмов сильнее всего влияло наличие органического вещества. Обращает на себя внимание и целлюлозолитическая активность почвы. Наибольшие показатели были характерны для вариантов с компостом, причем использованием компоста на фоне минерального удобрения приводило к увеличению численности этой группы в 2 раза в сравнении с вариантом без удобрения и в 20 раз в сравнении с контролем. Другими словами в почве происходят процессы естественного регулирования азотного цикла и в зависимости от системы мине-

рального питания и органического вещества микробиом реагирует по разному [5].

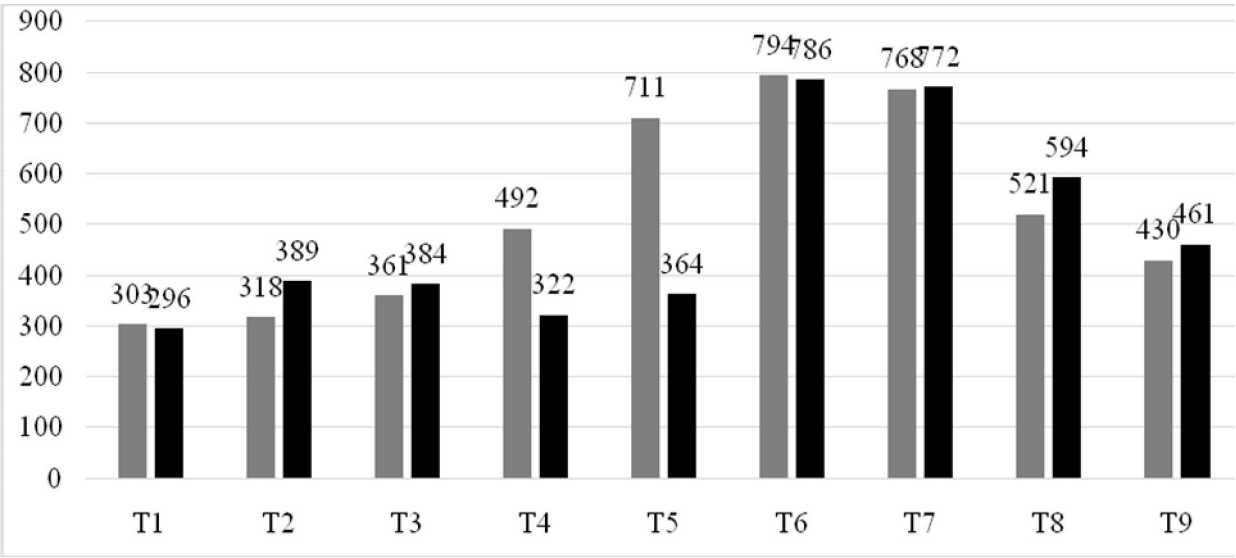

Рис. 1. Изменение содержания фосфора (P_2O_5) в почве при выращивании томата, мг/100 г, июнь-сентябрь 2019 г.

Примечание. Здесь и далее Т1, Т2 и т.д. – варианты опыта в соответствии со схемой.

В условиях многолетнего стационарного опыта в пахотном горизонте почвы контрольного варианта, где удобрения не вносились с 1942 года, содержание подвижных форм фосфора (рис. 1) осталось на высоком (> 200 мг/кг почвы), а обменного калия на очень низком (< 150 мг/кг) уровне (рис.2).

Длительное систематическое внесение фосфорных удобрений в составе органической и органоминеральной систем удобрения, способствовало увеличению в 3 раза содержания подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы и поддержанию обеспеченности на высоком уровне по сравнению с контрольным вариантом в течение всей вегетации (рис. 1). Так, в 2018 г. до внесения удобрений обеспеченность почвы подвижным фосфором на данных вариантах опыта составила 644 и 755, а к концу вегетации – 671 и 775 мг/кг почвы соответственно, против 229 и 267 мг/кг почвы на контрольном варианте.

В 2019 году, длительное систематическое применение органических удобрений и их сочетание с минеральными (варианты 6-7) также способствовало увеличению содержания подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы практически в 3 раза и поддержанию обеспеченности на высоком (>200 мг/кг) уровне по сравнению с контрольным вариантом в течение всей вегетации.

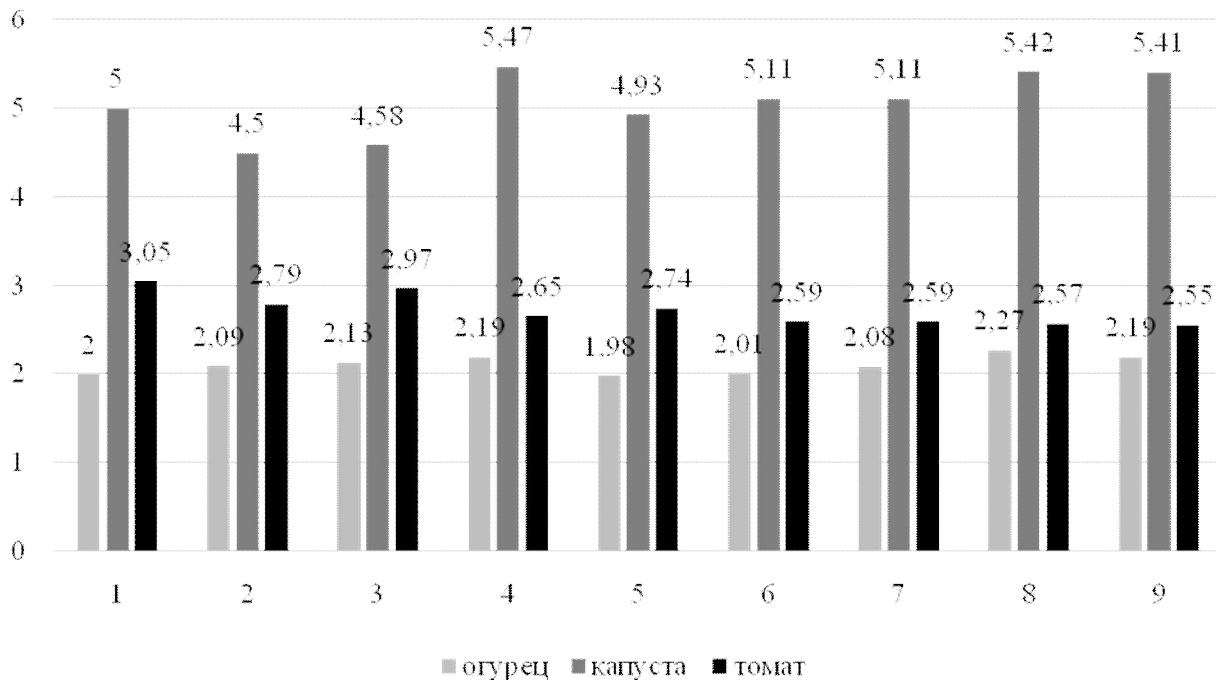

Рис. 2. Влияние системы удобрений на содержание сахаров при выращивании овощей, %

В поле 1, в 2018 году на протяжении всей вегетации наименьшая обеспеченность обменным калием пахотного горизонта почвы отмечена на контрольном варианте и варианте с внесением азотно-фосфорных удобрений и находилась на очень низком уровне <150 мг/кг почвы.

Самое высокое содержание отмечено при внесении органических и органоминеральных удобрений (вариант 6, 7) 161-163 и 213-279 мг/кг почвы соответственно. Обеспеченность пахотного горизонта почвы обменным калием на данных вариантах находилась на низком (<200 мг/кг) и среднем (200-300 мг/кг) уровнях.

В поле 2, в 2019 году, на протяжении всего вегетационного периода обеспеченность пахотного горизонта почвы обменным калием на всех вариантах опыта находилась на очень низком (<150 мг/кг) и низком (<200 мг/кг) уровне. Самое высокое содержание калия было на вариантах с ежегодным применением органических и удобрений и их сочетании с минеральными (вариант 6 и 7).

Длительное применение как минеральных, так и органических удобрений в различных дозах и сочетаниях положительно сказывается на урожайности огурца (табл. 3). В условиях 14 ротации (2017-2018 гг.) урожайность огурца на неудобренном варианте составила 16,0 т/га. На всех вариантах опыта получена прибавка общей урожайности от 0,4 до 5,1 т/га. При этом на варианте с ежегодным внесением азотно-калийных удобрений прибавка урожайности (0,4 т/га) имеет форму тенденции. Наибольший прирост урожайности получен при использовании фосфорно-калийной системы удобрения и полного минерального питания в полуторной норме (31,9-39,4% к контролю).

3. Урожайность огурца, т/га 2017-2018 гг.

Варианты опыта	14 ротация, 2017 г.	14 ротация, 2018 г.
1.Контроль	17,6	14,5
2. $N_{60}P_{90}K_{60}$	19,3	20,1
3. $N_{60}K_{60}$	17,2	15,6
4. $P_{90}K_{60}$	22,5	22,1
5. $N_{90}P_{135}K_{90}$	22,4	19,9
6. Компост	21,2	18,6
7. Компост + $N_{60}P_{90}K_{90}$	22,5	17,6
8.Последействие удобрений	19,7	19,8
9. $N_{60}P_{90}$	19,3	17,1

В 15-ой ротации (2018-2019 гг.) на опытном поле выращивался томат. В среднем за ротацию отмечено повышение урожайности по всем вариантам опыта, кроме варианта с ежегодным внесением органических удобрений. Наибольшая урожайность томата получена

при использовании полуторной нормы минеральных удобрений и составила 22,5 т/га, что на 24,4% выше, чем на контрольном варианте (табл.4).

4. Урожайность томата, т/га, 15-я ротация 2018-2019 гг.

Варианты опыта	2018 г.	2019 г.	средняя	Прибавка урожая, %
1.Контроль	16,45	43,8	30,1	-
2. $N_{60}P_{135}K_{60}$	17,74	68,2	43,0	42,6
3. $N_{60}K_{60}$	16,80	69,6	43,2	43,4
4. $P_{135}K_{60}$	16,01	63,8	39,9	32,5
5. $N_{90}P_{203}K_{90}$	18,46	77,6	48,0	59,4
6. Компост – 20 т/га	13,88	60,6	37,2	23,6
7. Компост – 20 т/га + $N_{60}P_{135}K_{60}$	13,50	73,8	43,7	44,9
8.Последействие удобрений	16,39	53,0	34,7	15,2
9. $N_{60}P_{135}$	17,60	60,0	38,8	28,8
НСР $_{05}$, т/га	2,75	3,21		
Sx, %	1,1	2,4		

Применение органических и минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях способствует повышению урожайности капусты белокочанной (табл.5).

5. Урожайность капусты белокочанной, т/га, 15-я ротация 2019-2020 гг.

Варианты опыта	2019 г.	2020 г.	средняя
1.Контроль – без удобрений	43,8	24,5	34,2
2. $N_{90}P_{90}K_{90}$	68,2	52,0	60,1
3. $N_{90}K_{90}$	69,6	55,0	62,3
4. $P_{90}K_{90}$	63,8	71,0	67,4
5. $N_{135}P_{135}K_{135}$	77,6	68,0	72,8
6. Компост – 30 т/га	60,6	60,5	60,6
7. Компост – 30 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$	73,8	77,3	75,6
8.Последействие удобрений	53,0	44,5	48,7
9. $N_{90}P_{90}$	60,0	58,5	59,3
НСР $_{05}$, т/га	11,2	34,5	
Sx, %	6,1	10,2	

Прибавка урожайности в 15 ротации варьировала от 14,5 до 41,4 т/га. В 2019 г. на всех вариантах опыта получена достоверная прибавка урожайности в сравнении с контрольным вариантом за исключением 8 варианта (последействие удобрений). В 2020 г. наибольшая урожайность – 75,6 т/га получена на 7 варианте (компост – 30 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$), наименьшая на контрольном варианте 34,2 т/га. Ежегодное применение различных систем удобрений обеспечивает высокую товарность кочанов капусты белокочанной. Товарность продукции составила 98,1-100%.

Внесение минеральных и органических удобрений в различных дозах и сочетаниях положительно влияет на накопления общего сахара в плодах огурца (рис.2). Содержание общего сахара варьировало от 1,98 до 2,27%. Наибольшее содержание отмечено на варианте с последействием ранее внесенных удобрений. Содержание нитратов в плодах огурца практически по всем вариантам опыта не превышало ПДК (150 мг/кг) и колебалось от 39 до 149 мг/кг сырой массы. Наибольшее содержание нитратов было на варианте с использованием органоминеральной системы удобрения.

Ежегодное внесение под огурец минеральных и органических удобрений в различных дозах и сочетаниях способствует накоплению витамина С в плодах. Содержание его на всех вариантах опыта было выше, чем на контрольном варианте (10,1 мг/100) на 1,5-2,0 мг/100 г. варианте и составило 10,69-12,09 мг% (рис. 8). Наибольшее содержание витамина С отмечено на варианте с использованием органоминеральной и азотно-калийной систем – 12,1-11,9 мг/100 г.

По содержанию сухого вещества и сахара в плодах томата в 15 ротации существенного различия на всех вариантах опыта не отмечено. Набольшее накопление сахаров отмечено на контрольном варианте и с ежегодным внесением азота и калия.

В среднем за ротацию наибольшее количество витамина С в плодах томата было характерно для контрольного варианта – 25,2 мг/100 г. Под влияние всех изучаемых систем удобрения происхо-

дило его снижение, причем максимальное – при ежегодном использовании органических удобрений.

Длительное систематическое применение удобрений оказало влияние на качество кочанов капусты. Содержание сухого вещества в кочанах капусты белокочанной составило от 9,01 до 10,20 %. Наибольшее количество сухого вещества было в кочанах капусты на 4 варианте (полуторная доза фосфора и рекомендованная доза калия).

Содержание сахара в кочанах капусты составило 4,50-5,47%. Незначительное превышение контрольного варианта по данному показателю отмечено на 4, 6, 7, 8 и 9 вариантах.

Содержание витамина С по всем вариантам опыта составило 38,01-42,90 мг%. Наименьшее содержание отмечено на вариантах 6 и 7. Максимальное количество витамина С накапливается в кочанах капусты белокочанной при выращивании после внесения рекомендованной дозы азота и калия и последействия удобрений.

Такой показатель, как экономическая эффективность при выращивании разных овощных культур зависит главным образом, от затрат на агротехнические мероприятия и стоимости готовой продукции, в том числе от дохода, получаемого при ее продаже. С учетом затрат условно чистый доход при выращивании томата на разных системах удобрения будет от убыточного (при внесении компоста, вариант 6, 7) до 268 тыс. руб с га при высокой концентрации полного (вариант 5) минерального питания.

При выращивании капусты белокочанной составит от 32 (последействие удобрений, вариант 8) до 298тыс.руб/га (полное минеральное питание на фоне внесенного компоста, вариант 7). Доход от выращивания огурца самый незначительный и составляет от 0 (вариант без фосфорного питания №3) до 76 тыс.руб/га на фосфорно-калийном удобрении (вариант 4).

Заключение

Результаты длительных опытов с внесением удобрений в стационарных севооборотах позволяют разработать объективные научные принципы построения системы удобрения для конкретной почвенно-климатической зоны, получить максимальную продуктивность овощных культур с биологически ценным урожаем и обеспечить наибольшую агроэкономическую эффективность удобрений.

Длительное, в течение 75 лет экстенсивное использование чернозема выщелоченного в интенсивном овощном севообороте приводит к существенному снижению содержания гумуса – на 1,32% в пахотном слое. Систематическое применение органических удобрений из расчета 32 т на 1 га севооборотной пашни способствовало росту содержания гумуса на 0,98 % к контролю, но не обеспечило его поддержание на исходном уровне.

Длительное систематическое применение различных доз органических и минеральных удобрений создает запас подвижных форм фосфора и калия в почве, при этом наибольшее положительное влияние характерно для органо-минеральной системы удобрения.

На основании исследований в 14 ротациях овощного севооборота наибольшая урожайность овощных культур получена при использовании минеральных удобрений в следующих нормах: под капусту – $N_{90}P_{90}K_{90}$, морковь – $N_{40}P_{30}K_{60}$, томат – $N_{60}P_{135}K_{60}$, огурец – $N_{60}P_{90}K_{60}$. Наибольший прирост урожайности огурца и томата 31,9-24,4 % соответственно получен при использовании полного минерального удобрения в полуторной норме.

Изучаемые системы удобрения не оказывают существенного влияния на биохимический состав плодов огурца и томата.

Литература

1. Борисов В.А. Система удобрения овощных культур. М.: Росинформагротех. 2016. 392 с.

2. Воронкова, Н.А. Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сельскохозяйственных культур / Н. А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова // Достижения науки и техники АПК, 2013.№ 5. С. 30-32.

3. Леонтьев, А.С. Плодородие чернозема южного и продуктивность зернопарового севооборота при длительном применении органических и органо-минеральных удобрений в Поволжье/Леонтьев Алексей Сергеевич. Саратов, 2007. 22 с.

4. Минакова О.А. Влияние 70-летнего применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного лесостепи ЦЧР и урожайность культур зерносвекловичного севооборота /О.А. Минакова, Л.В. Александрова, Л.В. Тамбовцева // Агрохимия. 2009. № 4. С. 31-37.

5. НадежкинС.М., МаркароваМ.Ю., Воронкин Е.В. Биологическая активность и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений. /Плодородие почв России: состояние, тенденции и прогноз. Материалы международной конференции (К 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Тамары Никандровны Кулаковской). Под редакцией В.Г. Сычева. М., 2019. С. 219-224.

6. Никитина Л.В. Действие и последействие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы / Л.В. Никитина // Плодородие. 2015. № 6. С. 3-5.

7. Пивоваров В.Ф., Надежкин С.М., Воронкин Е.В., Солдатенко А.В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество овощных культур.// Плодородие, 2021. № 3. С. 89-92.

8. Прошкин, В.А. Связь эффективности внесения фосфорных удобрений под озимую пшеницу с агрохимическими свойствами почв / В. А. Прошкин, Е.В. Шаброва, Л.С. Чернова // Плодородие, 2014. № 3 (78).С. 4-7.

9. Шустикова, Е. П. Изменение калийного режима чернозема обыкновенного под влиянием систематического внесения минеральных удобрений / Е.П. Шустикова, Н.Н. Шаповалова // Агрохимический вестник.2012. № 2. С. 5-7.

10. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. Новосибирск: СО РАН, 2003. 231 с.

EFFICIENCY OF LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS ON LEACHED CHERNOZEM IN THE 14TH AND 15TH ROTATIONS OF VEGETABLE CROP ROTATION

S.M. Nadezhkin[1], M.Yu. Markarova[1], E.V. Voronkin [2]

[1] Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Moscow region, Odintsovo district, VNIISSOK

[2]Western Siberian Vegetable Experimental Station (ZSOOS) – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNTSO, Barnaul

nadegs@yandex.ru

Annotation. In long-term experience with various fertilization systems on leached black earth, a comparative assessment of their influence on the yield and quality of cucumber, tomato and white cabbage, fertility indicators, microbiological soil condition, was carried out, economic effects were calculated when growing various vegetable crops.

Key words: black soil; fertility; yield; biochemical composition of vegetables; soil microbiome.

УДК 631.81

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ И ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

В.В. Окорков

ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»,
Россия, 601261 Владимирская область, Суздальский р-н,
пос. Новый, ул. Центральная, д. 3, E-mail: okorkovvv@yandex.ru

Аннотация. В 30-летнем стационарном опыте на серых лесных почвах Владимирского ополья изучено влияние минеральной, органической и органоминеральной систем удобрения на продуктивность 7-польного зернотравяного и 8-польного зернотравяно-пропашного севооборотов и изменение их агрохимических свойств. Выявлена определяющая роль азота минеральных удобрений и навоза на продуктивность изученных севооборотов. Их положительная роль на нее связана преимущественно с трансформацией азота удобрений и почвы в нитратную форму в ранние периоды вегетации культур. Этим объяснено более высокое влияние на урожайность возделываемых культур азота минеральных удобрений по сравнению с азотом подстилочного навоза крупного рогатого скота. Установлены взаимосвязи изменения содержания подвижного фосфора и обменного калия с балансом этих элементов питания за ротацию севооборота, нормативы затрат удобрений на повышение их содержания в почве, восстановительная способность серой лесной почвы в отношении поглощенных растениями P2O5 и K2O. Предложены наиболее эффективные дозы применения удобрений в изучаемых севооборотах. Из природных факторов, ограничивающих продуктивность серых лесных почв Ополья, является использование выпадающих осадков. Размеры их использования культурами варьировали от 38 до 68%, зависели от равномерности их выпаде-

ния в течение вегетационного периода, из слоя почвы 40-100 см достигали 60-66 мм и выше. Применение удобрений по сравнению с фоном известкования снижало расход влаги на создание единицы основной продукции в 1,35 раз и более.

Ключевые слова. Серые лесные почвы Владимирского ополья; севообороты; навоз КРС; минеральные удобрения; продуктивность севооборотов; агрохимические свойства почвы; использование культурами выпадающих осадков.

В структуре сельскохозяйственных угодий (995,7 тыс. га) на долю пашни приходится 606,1 тыс. га (60,8%), кормовые угодья (сенокосы и пастбища) занимают 323,1 тыс. га (32,4%), многолетние насаждения – 19,9 (2%), залежь – 46,6 тыс. га (4,7%) [1]. По данным агрохимической службы Владимирской области не используется 230 тыс. га пашни. Около 139 тыс. га не обрабатывалось более 10 лет, что привело к зарастанию значительной площади ее кустарниками и мелколесьем, а остальные 90 тыс. га можно ввести в оборот без крупных финансовых вложений.

Региональная практика предусматривает инициативы по привлечению неиспользуемых земель в сельскохозяйственный оборот. Принят ряд законодательных мер [2] по передаче земель сельскохозяйственного назначения от 25 соток до 200 га сроком на 6 лет в безвозмездное пользование для осуществления деятельности крестьянским фермерским хозяйствам. Практикуют и другие меры поддержки: погектарная поддержка на ввод в оборот неиспользуемых земель; возмещение части затрат на проведение культуртехнических работ; создание механизированных отрядов, оснащенных специализированной техникой по удалению древесно-кустарниковой растительности, обработке неиспользуемых земель.

Значительная часть пахотных земель области (54,5%) представлена кислыми почвами. Мероприятия по известкованию кислых почв проводятся в рамках Государственной программы агропромышленного комплекса Владимирской области [3]. В регионе проведено из-

вестковании в 2017 году на площади 5,7 тыс. га, в 2018 – 8,5, в 2019 году – 10,8 тыс. га. Большая часть проектов по известкованию разрабатывается без учета современных научных достижений [4].

С 2016 по 2020 гг. размеры применения минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) возрастали с 6,9 до 10,9 тыс. т, а в расчете на 1 га посевной площади (290,2-313,2 тыс. га) – с 27 до 53 кг/га. Внесение органических удобрений колебалось от 2,9 до 3,6 т/га, что было недостаточным для поддержания бездефицитного баланса гумуса. Для серых лесных почв он достигался при их применении около 10 т/га [5], для дерново-подзолистых почв – при значительно более высоких величинах [6].

В ассортименте приобретаемых удобрений преобладают азотные. В 2020 году доля азотных удобрений составляла 64%, доля фосфорных – 10, калийных – 25%, что соответствовало отзывчивости возделываемых культур на вносимые элементы питания.

Урожайность зерновых и зернобобовых культур (в весе после доработки) за 2016-2020 гг. колебалась от 21,2 до 30,2 ц/га. В благоприятных по увлажнению погодных условиях (2017 и 2020 гг.) она составила соответственно 25,9 и 30,2 ц/га. В острозасушливом 2021 году она снизилась до 20,7 ц/га. По сравнению с 2020 годом снижение урожайности зерновых и зернобобовых культур составило в 1,46 раз.

Наиболее плодородные серые лесные почвы занимают в области около одной трети площади пашни. Однако на них получают более 70% валовой сельскохозяйственной продукции. Они развивались на лессовидных карбонатных суглинках желтовато-бурой или светло-палевой окраски мощностью 2-4 м. Гранулометрический состав почвообразующих пород однороден, изменяется от тяжелых суглинков до легких глин. В них отсутствуют фракции крупного и среднего песка. Основная масса мелкозема состоит из частиц крупной (36-44%), средней и тонкой (20-35%) пыли. В илистой фракции преобладают смешано-слойные слюда- (хлорит) смектитовые образования (57-72%), гидрослюды (20-34%) и каолинит + хлорит

(7,9%) [7]. Вследствие этих особенностей почвообразующая карбонатная порода характеризуется высокими емкостью поглощения и степенью насыщенности основаниями, содержанием обменного калия, а также подвижного фосфора. Благоприятные физико-химические и агрохимические свойства унаследовали и пахотные горизонты, характеризующиеся и высоким содержанием гумуса (2,5-3,5% и выше), а также подпахотные горизонты серых лесных почв. По всему почвенному профилю в них отсутствует обменный алюминий в токсических для растений количествах, что позволяет корневым системам возделываемых культур в засушливые периоды вегетации проникать в глубокие слои (до метра и глубже) и использовать из них влагу и элементы питания, обеспечивать более высокую урожайность.

На дерново-подзолистых [8-10], серых лесных почвах Владимирского ополья [11] выявлена определяющая роль азотных удобрений в повышении урожайности полевых культур различных севооборотов. На серых лесных почвах Ополья исследования проводили в многолетнем стационарном опыте ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ», заложенном в 1991-1993 гг. [11]. Опыт развернут в 3-х полях. В 1-й ротации чередование культур следующее: 1) занятый пар (викоовсяная смесь); 2) озимая рожь; 3) картофель; 4) овёс с подсевом трав; 5) травы 1-го года пользования; 6) травы 2-го года пользования; 7) озимая рожь; 8) ячмень. Повторность опыта 3-кратная, площадь делянок 100 м^2 (5 м х 20 м).

В занятом пару 1-й ротации провели известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстилочного навоза КРС (0, 40, 60 80 т/га), вносимого под озимую рожь после уборки занятого пара, и минеральных удобрений, их сочетания на агрохимические свойства почвы и урожайность культур. Содержание азота в 1 т навоза КРС, вносимого в 1-й по 4-ю ротациях, составляло соответственно 4,5, 4,2, 4,6 и 4,4 кг. Во 2-4 ротациях исследования вели по последействию известкования.

В 1-й ротации в качестве одинарной дозы удобрений под зерновые культуры, однолетние и многолетние травы вносили P40K40 и N40P40K40, под картофель – P60K80 и N60P60K80. Под травы 1-го года пользования во всех ротациях в качестве двойной дозы применяли N40P80K80.

Во 2-й ротации одинарную и двойную дозы NPK под однолетние травы заменили на N60 и N75, фосфорно-калийные удобрения не применяли. Под яровую пшеницу, идущую после трав 2-го года пользования, в качестве одинарных доз использовали P60K60 и N60P60K60. В 7-польном севообороте 3-й и 4-й ротаций исключили пропашную культуру, под зерновые культуры и травы 1-го и 2-го года пользования в качестве одинарных доз вносили P40K40 и N40P40K40.

Анализ данных по продуктивности культур 8- и 7-польных севооборотов (табл. 1) показал, что на слабокислых серых лесных почвах известкование слабо влияло на этот параметр. Это объяснено отсутствием в контроле по всему метровому слою этих почв обменного алюминия в токсичных для корневых систем возделываемых культур количествах. Оно обеспечивало распространение их в более глубокие влажные слои почвы при пересыхании верхних.

Корреляционно-регрессионный анализ изучения изменения средней ежегодной продуктивности севооборотов (у, ц/га з.е.) в зависимости от систем удобрения подтвердил определяющее влияние азота минеральных удобрений и навоза на этот параметр (табл. 2). На их долю приходилось от 89 до 95% вариации средней продуктивности севооборотов. Применение фосфорно-калийных удобрений повышало тесноту связи на 4,3-7,4%.

Так как с ростом доз азота минеральных удобрений их повышающее урожайность культур действие снижается (при постоянстве действия органических удобрений), то эквивалент минеральных удобрений (ЭМУ) навоза по азоту не является постоянной величиной. Он возрастал с 0,38-0,54 до 0,45-0,61 и 0,48-0,72 с увеличением доз внесения навоза с 40 до 60 и 80 т/га за ротацию севооборота.

Расчет ЭМУ навоза по азоту, исходя из линейных зависимостей средней продуктивности севооборота от среднегодовых доз применения удобрений, завышал этот параметр.

1. Влияние систем удобрения на среднюю продуктивность культур 8- и 7-польных севооборотов на серых лесных почвах Владимирского ополья, ц/га з.е.

Вариант	1-я ротация 8-польного севооборота, 1991-2000 гг.	2-я ротация 8-польного севооборота, 1999-2008 гг.	3-я ротация 7-польного севооборота, 2007-2015 гг.	4-я ротация 7-польного севооборота, 2014-2020 гг. (поле 1)
1.Контроль	29,0	32,9	30,8	34,6
2.Фон известкования	29,3	30,9	30,2	34,8
3.Фон + РК	31,4	33,8	33,5	37,4
4.Фон + NPK	36,4	39,6	39,7	43,1
5.Фон + 2 NPK	40,0	41,6	42,6	45,3
6.Фон + навоз 40 т/га (Н40)	31,8	34,9	33,8	39,1
7.Фон + навоз 60 т/га	34,1	35,8	35,0	39,9
8. Фон + навоз 80 т/га	33,5	35,8	35,3	40,6
9.Фон + Н40 + РК	32,4	36,0	35,6	39,9
10.Фон + Н40 + NPK	38,8	40,7	40,9	45,1
11. Фон + Н40 + 2NPK	42,2	42,2	43,0	47,0
12. Фон + Н60 + РК	33,4	36,4	36,3	40,6
13. Фон + Н60 + NPK	39,0	42,0	41,0	46,5
14. Фон + Н60 + 2NPK	41,3	42,0	44,0	46,7
15. Фон + Н80 + РК	34,0	37,8	37,1	42,0
16. Фон + Н80 + NPK	40,3	41,9	41,4	46,7
17. Фон + Н80 + 2NPK	41,5	43,3	45,5	47,7
$НСР_{05}$, ц/га з.е.	2,8	4,3	3,4	2,9

В 1 т навоза содержание азота варьировало от 4,2 до 4,6 кг.

Более высокое влияние на продуктивность культур севооборотов азота минеральных удобрений по сравнению с азотом органических свидетельствует о более существенном вкладе вносимых органических удобрений в повышение и сохранение содержания гумуса в почве.

2. Математические зависимости по влиянию удобрений на среднюю продуктивность культур севооборотов, ц/га з.е. (на фоне известкования)

Ротация, годы исследования	Уравнение взаимосвязи, n = 16	R^2	ЭМУ навоза по азоту
1-я, 1991-2000 гг.	$У = 31,0 + 0,313\ x_1 + 0,114\ x_2$	0,947	0,61
	$У = 30,7 + 0,313\ x_1 + 0,184\ x_2 – 0,0009x_2^2$	0,971	0,42; 0,52; 0,48*
2-я, 1999-2008 гг.	$У = 33,6 + 0,324\ x_1 + 0,0895\ x_2$	0,891	0,86
	$У=32,5+0,324\ x_1+0,173x_2+0,041x_3 – 0,0014x_2^2$	0,965	0,54; 0,60; 0,68*
	$У = 33,4 + 0,324\ x_1 + 0,175\ x_2 – 0,0011\ x_2^2$	0,939	0,51; 0,55; 0,60*
3-я, 2007-2015 гг.	$У = 33,1 + 0,256\ x_1 + 0,122\ x_2$	0,929	0,46
	$У=31,9+0,256x_1+0,180\ x_2+0,060x_3 – 0,0014x_2^2$	0,972	0,38; 0,45; 0,52*
4-я, 2014-2020 гг.	$У = 37,2 + 0,360x_1 + 0,107x_2$	0,920	0,76
	$У = 36,3 + 0,360x_1 + 0,199x_2 + 0,040x_3 – 0,0017x_2^2$	0,974	0,52; 0,61; 0,72*
Среднее за 1-2 ротации по дозам навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию			0,47; 0,55; 0,56*
Среднее за 3-4 ротации по дозам навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию			0,45; 0,53; 0,62*

Примечание. * – приведены рассчитанные данные по дозам внесения за ротацию 40, 60 и 80 т/га навоза КРС.

У – средняя за ротацию продуктивность севооборота, ц/га з.е.;

x_1 – ежегодная средняя доза применения навоза в севообороте, т/га;

x_2 – ежегодная средняя доза азота $N_{аа}$, кг/га;

x_3 – ежегодная средняя доза применения РК удобрений в расчете на P_2O_5, кг/га.

Так как решающее влияние на продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья оказывало применение азота

минеральных удобрений и навоза, то была изучена динамика нитратного и аммонийного азота под культурами севооборотов. Изучали запасы их форм в слое почвы 0-40 см в 3 срока: всходы яровых культур (отрастание трав и озимых), колошение зерновых, уборка. К 1-му сроку наблюдений происходила трансформация вносимых азотных удобрений в нитраты, органического вещества почвы (гумус, растительные остатки) и органических удобрений в аммиачную и нитратную формы. Поэтому запасы последних в этот срок обычно были максимальными. К середине вегетации они снижались за счет интенсивного поглощения растениями, к уборке культур несколько возрастали, в засушливые годы могли снижаться. В таблице 3 приведена средняя динамика запасов нитратного и аммонийного азота за 3-ю ротацию 7-польного севооборота (за 2007-2015 гг.) по 3-м полям.

Видно, что запасы нитратного азота в 1-й срок наблюдений резко возрастали при применении азотных минеральных удобрений (аммиачная селитра), в то время как запасы аммонийного азота изменяются в небольших пределах (96-136 кг/га). В удобренных азотом вариантах поглощение $N\text{-}NO_3$ (снижение их запасов во 2-й срок по сравнению с 1-м) в ответственные фазы (кг/га) было в 2,5-3,4 раз более высокое, чем $N\text{-}NH_4$. Очевидно, они играют определяющую роль в повышении продуктивности культур севооборота, так как полностью находятся в жидкой фазе. Ионы же аммония на почвах с высокой емкостью катионного обмена переходят в жидкую фазу в небольших количествах. Сумму запасов $N\text{-}NO_3$ и $N\text{-}NH_4$ в жидкой фазе почвы в период всходов или возобновления вегетации культур назвали мобильным фондом (**МФ**) азота [11]. Основу мобильного фонда азота составляют запасы нитратного азота.

За 1-ю и 2-ю ротации 8-польного севооборота, 4-ю ротацию 7-польного севооборота влияние систем удобрения на динамику запасов $N\text{-}NO_3$ было близким. Однако средние запасы аммонийного азота в слое почвы 0-40 см по вариантам опыта в 1-й и 2-й ротациях варьировали от 174 до 201 кг/га, то есть были в 1,58-1,77 раз более

высокими, чем в 3-й ротации, а в 4-й ротации на 1-м поле они снизились до 42-64 кг/га [12]. В последней ротации их снижения во 2-й срок наблюдения по сравнению с 1-м не наблюдали. Такая годовая динамика в запасах $N\text{-}NH_4$ была следствием избыточного применения удобрений в 80-х годах 20-го столетия на серых лесных почвах Ополья (районы сплошной химизации).

3. Влияние систем удобрения на средние ежегодные запасы $N\text{-}NO_3$ и $N\text{-}NH_4$ в слое почвы 0-40 см под культурами 7-польного севооборота в различные периоды их вегетации за 2007-2015 гг., кг/га

Вариант	Всходы или возобновле-ние вегетации (1-й срок)		Колошение и бутонизация (2-й срок)		После уборки		Снижение запасов во 2-й срок по сравнению с 1-м			
							кг/га		%	
	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	$\Delta N\text{-}NO_3$	$\Delta N\text{-}NH_4$	$\Delta N\text{-}NO_3$	$\Delta N\text{-}NH_4$
1.Контроль	42,2	98,1	18,1	84,3	25,6	97,9	24,1	13,8	57	14,1
2.Фон известкования	42,4	98,2	19,8	84,8	28,7	102	22,8	13,4	54	13,6
3.Фон + РК	44,1	96,0	18,9	83,2	28,7	98,9	25,1	12,8	57	13,3
4.Фон + NPK	90,0	107,3	28,7	98,9	37,8	104	61,3	8,0	68	7,5
5.Фон + 2 NPK	123	118,2	44,8	107	52,3	109	78,2	11,4	64	10,7
6.Фон + навоз 40 т/га (Н40)	46,5	103,5	20,6	92,2	31,2	98,8	26,0	11,3	56	10,9
7.Фон + навоз 60 т/га	50,6	105,9	22,3	91,7	34,1	106	28,3	14,2	56	13,4
8. Фон + навоз 80 т/га	51,3	104,6	19,9	90,6	33,8	98,5	31,5	14,0	61	13,4
9.Фон + Н40 + РК	47,1	109,0	19,4	95,9	27,8	100	27,7	13,1	59	12,0
10.Фон + Н40 + NPK	97,5	114,1	33,0	92,1	39,9	104	64,5	20,0	66	17,5
11. Фон + Н40 + 2NPK	144	122,6	46,9	92,4	57,0	109	97,1	30,2	67	24,6
12. Фон + Н60 + РК	51,0	110,5	20,8	94,2	33,7	108	30,2	16,3	59	14,8
13. Фон + Н60 + NPK	101	114,9	35,3	89,8	41,1	111	65,7	25,1	65	21,8
14. Фон + Н60 + 2NPK	150	136,0	48,3	106	53,9	118	102	30,5	68	22,4
15. Фон + Н80 + РК	56,8	102,3	23,9	82,1	33,7	112	32,9	20,2	58	19,8
16. Фон + Н80 + NPK	111	115,9	33,4	93,3	43,7	117	77,6	22,6	70	19,5
17. Фон + Н80 + 2NPK	160	126,9	50,6	93,8	57,9	113	109	33,1	68	26,1

Снижение запасов $N\text{-}NH_4$ в изучаемом слое и его степени перехода в жидкую фазу от 1-й и 2-й ротаций к 3-й и 4-й ротациям, данные таблице 4 подтвердили определяющее влияние, запасов $N\text{-}NO_3$ на продуктивность севооборотов.

4. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (у, ц/га з.е.) со средними запасами нитратного азота в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации культур (х, кг/га)

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, n = 17	R	R^2
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992-2008 гг.			
Линейная	$У_{1\text{-}2} = 33{,}3 + 0{,}0844\ (x - 44)$	0,926	0,856
Квадратичная	$У_{1\text{-}2} = 32{,}7 + 0{,}234\ (x - 44) - 0{,}0008\ (x - 44)^2$	0,953	0,908
Степенная	$У_{1\text{-}2} = 31{,}0\ (x - 44)^{0{,}062}$	0,955	0,912
Гиперболическая	$У_{1\text{-}2} = 47{,}4\ \frac{x}{20{,}2 + x}$	0,998	0,996
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007-2015 гг.			
Линейная	$У_3 = 33{,}7 + 0{,}104\ (x - 42)$	0,945	0,893
Квадратичная	$У_3 = 33{,}0 + 0{,}253\ (x - 42) - 0{,}0007\ (x - 42)^2$	0,962	0,926
Степенная	$У_3 = 28{,}8\ (x - 40)^{0{,}088}$	0,987	0,975
Гиперболическая	$У_3 = 51{,}3\ \frac{x}{24{,}7 + x}$	0,998	0,996
4-я ротация 7-польного севооборота, 2014-2020 гг.			
Линейная	$У_4 = 37{,}7 + 0{,}091\ (x - 40)$	0,911	0,831
Квадратичная	$У_4 = 36{,}2 + 0{,}293\ (x - 40) - 0{,}001\ (x - 40)^2$	0,959	0,919
Степенная	$У_4 = 34{,}0\ (x - 40)^{0{,}061}$	0,908	0,824

Теснота связи средней продуктивности севооборотов, с одной стороны, со средними запасами нитратного азота в ранний период вегетации культур, с другой, а также с мобильным фондом азота в тот же срок была близкой [12]. Это позволяет использовать для прогнозирования урожайности отдельных культур на серых лесных почвах Ополья только запасы нитратного азота.

Слабая роль запасов $N\text{-}NH_4$ почвы ранних сроков наблюдения в питании растений была подтверждена и изучением степени его перехода в жидкую фазу. Так, для слоев почвы 0-20 и 20-40 см для 2007 и 2020 годов была установлена тесная линейная связь содер-

жания $N\text{-}NH_4$ в почве (6,92>x>0,77, мг/100 г почвы) с размерами его перехода в водную вытяжку (W, %):

$W = 0,28 + 0,743\ x$, $n = 68$, $t_{сущ} = 26,2$, $r^2 = 0.912$, дов. инт. = 0,98.

По этому уравнению величина W даже в 1-й и 2-й ротациях севооборота не превышала 5,5%, а запасы $N\text{-}NH_4$ в жидкой фазе слоя почвы 0-40 см – 20 кг/га.

На легких дерново-подзолистых почвах Мещеры [13], которые характеризовались варьированием емкости катионного обмена от 2,0 до 14,6 мг-экв/100 г и содержания аммонийного азота от 0,78 до 5,0 мг/100 г почвы, физической глины от 1,4 до 22,5%, степень перехода $N\text{-}NH_4$ в жидкую фазу повышалась с уменьшением емкости катионного обмена и содержания физической глины, изменялась от 7,6 до 25,6%. Высокая роль $N\text{-}NH_4$ в питании растений очевидна.

Так как запасы нитратного азота в почве определяли величину урожая возделываемых культур, то была проведена оценка влияния среднегодовых доз азота, вносимых с органическими и минеральными удобрениями, на запасы нитратного азота в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации культур (табл. 5).

5. Математические зависимости по взаимосвязи среднегодовых доз азота вносимых органических (x_1, кг/га) и минеральных (x_2, кг/га) удобрений с запасами нитратного азота в слое почвы 0-40 см в ранний период вегетации полевых культур (у, кг/га)

Ротация се-во-оборотов, го-ды иссле-до-ваний	Уравнение взаимосвязи, n = 17	R^2	Увеличение $N\text{-}NO_3$ от 1 кг N навоза, кг
1-я и 2-я, 1992-2008	$У = 44,7 + 0,18\ x_1 + 1,26\ x_2$	0,996	0,18
	$У = 45,1 + 1,26\ x_2 + 0,0045x_1^2$	0,997	0,10; 0,15; 0,20*
3-я, 2007-2015	$У = 38,2 + 0,351\ x_1 + 1,274\ x_2$	0,987	0,35
	$У = 41,8 + 0,186x_1 + 0,981x_2 + 0,0023x_3^2 + 0,0063x_1x_2$	0,998	-
4-я, 2014-2020	$У = 42,4 + 0,39x_1 + 1,30\ x_2$	0,994	0,39
	$У = 42,9 + 0,39\ x_1 + 1,06\ x_2 + 0,0034\ x_2^2$	0,996	0,39
	$У = 44,7 + 1,072\ x_2 + 0,0079\ x_1^2 + 0,0033\ x_2^2$	0,996	0,20; 0,30; 0,40*

Примечание. * – приведены рассчитанные данные по дозам внесения за ротацию 40, 60 и 80 т/га навоза КРС.

Видно, что 1 кг азота вносимых органических удобрений в слое почвы 0-40 см в 1-й и 2-й ротациях обеспечивал накопление 0,18 кг нитратного азота, а 1 кг азота минеральных – 1,26 кг. В 3-й и 4-й ротациях севооборота величина накопления нитратного азота от 1 кг азота навоза повысилась с 0,18 до 0,35 и 0,39 кг, 1 кг азота аммиачной селитры – с 1,26 до 1,27 и 1,30 кг.

Более низкие размеры накопления $N\text{-}NO_3$ в 1-й и 2-й ротациях севооборота от 1 кг азота органических удобрений в ранний период вегетации культур обусловлены тем, что содержание и запасы $N\text{-}NH_4$ в почве были более высокими (174-201 кг/га) [12], чем в 3-й (96-136 кг/га) и 4-й (45-62 кг/га) ротациях. Соответственно, в 1-й и 2-й ротациях были более высокими и размеры перехода $N\text{-}NH_4$ в жидкую фазу. Это вело к их активной нитрификации в ущерб ее протекания при трансформации органических удобрений в ранний срок. В 3-й и 4-й ротациях запасы аммонийного азота в почве резко снизились, уменьшились и размеры его перехода в жидкую фазу почвы. Поэтому до периода активной вегетации полевых культур более интенсивно протекала трансформация азота навоза в аммонийную и нитратную формы. Отчасти этому способствовало изменение климатических условий в сторону потепления.

Как следует из данных таблицы 5, 1 кг аммонийного азота аммиачной селитры в 3-й и 4-й ротациях соответствовал трансформации 2 кг азота органических удобрений и формированию в слое почвы 0-40 см 0,64-0,65 кг $N\text{-}NO_3$, другой кг азота ее обеспечивал повышение запасов нитратного азота в почве до 1,27-1,30 кг. Следовательно, соотношение нитратного азота, образующегося в ранний весенний срок из 1 кг азота органических удобрений и 1 кг $N\text{-}NH_4$ аммиачной селитры, будет равно: $\frac{0,35}{0,64}$ … $\frac{0,39}{0,65}$ = 0,55… 0,60. В опыте эта величина была близка к ЭМУ азота навоза. При этом следует принять во внимание, что в слое почвы 0-40 см при применении полного минерального удобрения в ранний период вегетации

культур распределялось от 61 до 77% формирующихся в метровом слое почвы запасов нитратного азота (табл. 6).

6. Распределение запасов нитратного азота в слоях почвы 0-40 и 0-100 см в ранний период вегетации культур в 1-й ротации 8-польного севооборота

Вариант	Запасы $N\text{-}NO_3$ в период отрастания озимой ржи, 1997-1999 гг. в слоях, кг/га		Доля запасов $N\text{-}NO_3$ в слое 0-40 см от их запасов в слое почвы 0-100 см, %	Запасы $N\text{-}NO_3$ в период всходов ячменя, 1998-2000 гг. в слоях, кг/га		Доля запасов $N\text{-}NO_3$ в слое 0-40 см от их запасов в слое ее 0-100 см, %
	0-40 см	0-100 см		0-40 см	0-100 см	
Фон (известь)	41	100	41	58	106	55
Ф + навоз 60 т/га	40	86	46	66	106	62
То же + N40P40K40	63	103	61	141	204	69
То же + N80P80K80	121	157	77	167	241	69

Примечание. Предшественником озимой ржи являлись травы 2-го года пользования.

Установлена линейная взаимосвязь изменения содержания подвижного P_2O_5 и обменного K_2O с балансом этих элементов питания за ротацию севооборота. На основании этих данных были рассчитаны нормативы затрат удобрений за ротацию на повышение их содержания в почве и восстановительная способность серой лесной почвы в отношении поглощенных P_2O_5 и K_2O [12].

На основе изучения баланса основных элементов питания за 2-4 ротации севооборотов для серых лесных почв Ополья установлены наиболее эффективные дозы применения удобрений. Показано, что наиболее благоприятный баланс по азоту и фосфору складывался при органоминеральной системе удобрения: при сочетании навоза КРС 40-80 т/га за ротацию с ежегодным внесением одинарной дозы $N_{40\text{-}45}P_{40\text{-}45}K_{40\text{-}45}$; по калию – при сочетании тех же доз навоза с двойной дозой NPK. Однако, учитывая размеры ежегодной

восстановительной способности почвы по калию и использование его из подпахотных горизонтов, оптимальной системой удобрения будет органоминеральная, включающая применение 40-80 т/га навоза КРС за ротацию в сочетании с ежегодным внесением одинарной дозы $N_{40-45}P_{40-45}K_{40-45}$.

Из основных природных факторов, ограничивающих продуктивность серых лесных почв Ополья, является использование выпадающих осадков. Размеры их использования культурами по ротациям севооборотов варьировали от 38 до 68% (табл. 7). Наиболее часто они зависели от равномерности выпадения осадков в течение вегетационного периода [12]. Положительно влияли на их размеры и благоприятные физико-химические свойства подпахотных горизонтов изучаемых почв. Они позволяли корневым системам возделываемых культур проникать в них и использовать находящиеся здесь влагу и элементы питания. Из слоя почвы 40-100 см ими потреблялось до 60-66 мм влаги и более. Общие размеры поглощения влаги культурами слабо зависели от степени их удобренности. Но расход влаги на создание одного центнера основной продукции (мм:ц/га з.е.) при применении удобрений по сравнению с фоном известкования снижался на 30-40%.

7. Размеры использования влаги культурами севооборотов от среднегодового выпадения осадков в разные годы

Культура	Количество выпадающих осадков, мм	Использование осадков в 4-й ротации		Использование осадков во 2-й и 3-й ротациях	
		мм	%	мм	%
Викоовсяная смесь	480	180	38	254	53
Озимые	627	290	46	386	64
Овес	631	254	40	338	56
Травы 1-го года поль-зования	616	374	61	412	68
Травы 2-го года поль-зования	439	190	43	278	58
Яровая пшеница	608	318	52	356	59
Ячмень	604	317	52	326	54

Литература

1. Ежегодный доклад о состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области в 2019 году. Департамент природопользования и охраны окружающей среды администрации Владимирской области, 2020.

2. Закон Владимирской области от 11 февраля 2019 года N 1-03 «Об определении муниципальных образований, на территории которых земельные участки, находящиеся в государственной или муниципальной собственности, предоставляются в безвозмездное пользование гражданам для осуществления крестьянским (фермерским) хозяйством его деятельности».

3. Государственная программа развития агропромышленного комплекса Владимирской области на 2013-2020 годы, утвержденная Постановлением Губернатора от 25 сентября 2012 г. N 1065.

4. Окорков В.В. К теории химической мелиорации кислых почв // Агрохимия. 2019. № 9. С. 3-17. DOI: 10.1134/S0002188119090096.

5. Романенков В.А., Беличенко М.В., Рухович О.В., Никитина Л.В., Иванова О.И. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных опытах Агрохимслужбы и Географической сети Российской Федерации // Агрохимия. 2020. № 12. С. 28-37.

6. Лукин С.М. Агроэкологическое обоснование систем применения удобрений в севообороте на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах. Автореф. дисс. … доктора биологических наук. – М.: 2009. – 49 с.

7. Чижикова Н.П., Окорков В.В., Карпова Д.В. Оценка резервов элементов питания Владимирского ополья в связи с их минералогическим составом // В сб.: Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. Материалы 1-й Всероссийской открытой конференции. Ответственный редактор: Иванов А.Л.; составители Молчанов Э.Н., Назарова Л.Ф. М., 2015. С. 448-461.

8. Ненайденко Г.Н. Рациональное применение удобрений в условиях рыночной экономики. Иваново, 2007. 350 с.

9. Налиухин А.Н., Белозеров Д.А. Влияние различных систем удобрения и известкования на урожайность, технологические и хлебопекар-

ные качества зерна озимой пшеницы в условиях северного Нечерноземья // Агрохимия. 2020. № 1. С. 33-42.

10. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13.

11. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехнологиях различной интенсивности. Суздаль. 2017. 176 с.

12. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Серые лесные почвы Владимирского ополья и эффективность использования их ресурсного потенциала. Иваново: ПресСто, 2021. 188 с.

13. Окорков В.В. Различия в использовании растениями нитратного и аммонийного азота почвы // Проблемы и вопросы современной науки. Рецензируемый сборник научных трудов. Июнь 2019 г. № 2(3). Часть 1. Изд. научно-издательский Центр Международной Объединенной Академии Наук (НИЦ МОАН). 2019. С. 66-76.

THE EFFECT OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS ON CROP ROTATION PRODUCTIVITY AND CHANGES IN FERTILITY OF GRAY FOREST SOILS OF THE UPPER VOLGA REGION

Okorkov V.V.

FGBNU "Verkhnevolzhsky FANZ", Russia, Suzdal

Annotation. In a 30-year stationary experiment on gray forest soils of the Vladimir Opolye, the influence of mineral and organic, organic and mineral fertilizer systems on the productivity of 7-field grain-grass and 8-field grain-grass-row crop rotations and changes in their agrochemical properties are studied. The determining role of nitrogen of mineral fertilizers and manure on the productivity of the studied crop rotations is revealed. Their positive role on it was mainly associated with the transformation of nitrogen fertilizers and soil into nitrate form in the early periods of the growing season of crops. This explains the higher effect of nitrogen of mineral fertilizers on the yield of cultivated crops compared to nitrogen of

bedding manure of cattle. The interrelationships of changes in the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium with the balance of these nutrients for rotation of crop rotation, the standards of fertilizer costs to increase their content in the soil, the regenerative ability of gray forest soil in relation to absorbed plants P_2O5 and K_2O are established. The most effective doses of fertilizer application in the studied crop rotations are proposed. One of the natural factors limiting the productivity of gray forest soils of Opolye is the use of precipitation. The size of their use by crops varied from 38 to 68%, depended on the uniformity of their precipitation during the growing season, from the soil layer 40-100 cm reached 60-66 mm and higher. The use of fertilizers in comparison with the liming background reduced the moisture consumption for the creation of a unit of the main product by 1.35 times or more.

Keywords: Gray forest soils of the Vladimir Opolye; crop rotations; cattle manure; mineral fertilizers; crop rotation productivity; agrochemical properties of the soil; the use of precipitation by crops.

УДК 631.81:633.20.38

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ КУЛЬТУРНЫХ ПАСТБИЩ И ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДОЛГОЛЕТНЕГО (75 ЛЕТ) ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

К.Н. Привалова, Р.Р. Каримов
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса»
г. Лобня Московской области, e-mail: vik_lugovod@bk.ru

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по влиянию длительного (75 лет) применения минеральных и органических удобрений на продуктивность культурных пастбищ и основные показатели плодородия почвы. Показатели продуктивности в зависимости от уровня удобрений изменялись от 23 до 77 ГДж/га ОЭ (1,9-6,4 тыс. корм. ед.). При долголетнем использовании удобряемых травостоев отмечено увеличение накопления в почве гумуса на 36-55 %.

Ключевые слова: долголетние культурные пастбища; удобрение; продуктивность; плодородие почвы.

В современных условиях социально-экономического развития страны при ограниченности средств и материальных ресурсов, устойчивой тенденции диспаритета цен на средства производства и продукцию основным направлением повышения эффективности лугового кормопроизводства является максимальное использование возобновляемых биологических факторов и природных ресурсов. Луговодство, как ни одна другая отрасль растениеводства, располагает многосторонней возможностью сокращения невозобновляемых ресурсов, одной из аспектов которой является увеличение продуктивного долголетия сеяных травостоев [1-4]. Повышение долголетия благодаря конструированию самовозобновляющихся фито-

ценозов является новым перспективным направлением исследований в луговодстве [5-7]. Использование долголетних травостоев обеспечивает существенную экономию капитальных вложений, планируемых на перезалужение, способствует ускоренному расширению площадей улучшенных луговых угодий с целью повышения производства кормов. Повышение продуктивного долголетия агрофитоценозов обеспечивается при соблюдении всех рекомендуемых агроприемов, при этом особую значимость имеет применение научно обоснованного уровня питания трав (сочетание и дозы удобрений). Исследования проводятся в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» на стационарном полевом опыте, заложенном в 1946 г. на суходоле с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой, типичной для Центрального района Нечерноземной зоны. При закладке опыта в слое почвы 0-20 см содержалось 2,03 % гумуса, 60 мг/кг P_2O_5, 70 мг/кг К2О, кислотность почвы составляла (рНсол – 4,3), поэтому после основной обработки дернины внесена известь (5 т/га), повторно – в период использования травостоев. Залужение участка проведено травосмесью в составе местных популяций клевера лугового (3 кг/га), клевера ползучего (2), тимофеевки луговой (4), овсяницы луговой (10), лисохвоста лугового (3), мятлика лугового (2), костреца безостого (4). Режим использования травостоев – три цикла за сезон в фазу выхода в трубку злаковых трав. Площадь делянки – 104 $м^2$. Учеты и наблюдения проводили по современным общепринятым в луговодстве и земледелии методикам. Биохимический состав пастбищной травы определяли в лаборатории массовых анализов ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» [8]. В зависимости от уровня применяемых удобрений формируются разные по составу долголетние фитоценозы. На фоне естественного почвенного плодородия (без внесения удобрений) отмечена регрессивная (отрицательная сукцессия) – переформирование сеяного бобово-злакового травостоя в низово-злаковый с участием на 70-75 гг. пользования 74 % внедрившихся дикорастущих низовых злаков и разнотравья. Среди внедрившихся злаков основными видами являлись овсяница

красная и полевица тонкая, их содержание в травостое составляло 54 %. Ежегодное внесение фосфорно-калийных удобрений в дозе $P_{45}K_{90}$ способствовало формированию травостоя с содержанием клевера ползучего около 20 % в среднем за годы пользования, а в благоприятные по увлажнению годы – до 42 %. На фоне полного минерального удобрения $N_{60-180}P_{45}K_{90-120}$ в результате прогрессивной сукцессии полноценные фитоценозы с участием 41-50 % корневищных самовозобновляющихся злаков – лисохвоста лугового и мятлика лугового сохраняются в течение 75 лет. При рациональном режиме использования травостоев на фоне ежегодного внесения удобрений получен качественный зеленый корм в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57482-2017 «Корм пастбищный». По энергонасыщенности – 10,2-10,5 МДж в 1 кг СВ и содержанию сырого протеина – 15,9-20,0 % зеленый корм, получаемый на всех изучаемых фонах удобрения, полностью удовлетворял потребности коров в кормовом белке. Наиболее питательный корм с содержанием 173 г переваримого протеина в 1 корм. ед., удовлетворяющий потребности высокопродуктивных животных, получен при ежегодном внесении $N_{180}P_{45}K_{120}$ кг/га д. в. В таблице 1 приведены показатели производства пастбищного корма в среднем за 45 лет. Урожайность пастбищных травостоев на фоне естественного плодородия почвы составила 2,19 т/га сухого вещества. При внесении органических удобрений (10 и 20 т/га – 1 раз в 4 года) урожайность повысилась в 1,5-1,7 раза, на фоне $P_{45}K_{90}$ – в 2,2 раза благодаря использованию биологического азота, на фоне полного минерального удобрения – в 2,9-3,4 раза. Продуктивность долголетних фитоценозов в зависимости от уровня удобрения изменялась от 22,8 ГДж/га обменной энергии (1,9 тыс. корм. ед.) до 76,9 ГДж/га (6,4 тыс. корм. ед.). Максимальное производство пастбищного корма, в 3,4 раза выше по сравнению с контролем, получено на фоне ежегодного внесения $N_{180}P_{45}K_{120}$, при этом отмечен наибольший сбор сырого протеина – 14,9 ц/га (при 3,1 ц/га на контроле). Отмечена высокая окупаемость удобрений, максимальная – 16,7 корм. ед. на фоне РК. Продуктив-

ность пастбищных травостоев в значительной степени зависит от погодных условий вегетационного периода, особенно от степени атмосферного увлажнения [9]. Во влажные годы с количеством осадков в вегетационный период до 455 мм по сравнению с сухим (количество осадков 227 мм) продуктивность неудобренного травостоя повысилась в 3,8 раза в результате активной минерализации органического вещества дернины и включения в продукционный процесс элементов питания, закрепленных в ней; на фоне полного минерального удобрения сбор корма увеличился в 2,0-2,3 раза.

Максимальная продуктивность пастбища – 114 ГДж/га обменной энергии (9,5 тыс. корм. ед.) получена в 2008 г. на фоне $N_{180}P_{45}K_{120}$. Продолжительность вегетационного периода в этом году была на 39 дней больше по сравнению со среднемноголетней, количество осадков на 42 % превышало среднемноголетний показатель.

1. Продуктивность долголетних пастбищных травостоев при разном уровне удобрений (среднее за 1976-2020 гг., 30-75 гг. опыта)

Удобрение	Сбор с 1 га поедаемого корма (85 % от запаса)				Окупаемость удобрений, корм. ед. на 1 кг
	сухое вещество, т	ОЭ, ГДж	корм. ед.	сырой протеин, ц	
Без удобрений	2,19	22,8	1883	3,1	-
$P_{45}K_{90}$	4,85	48,0	4238	16,7	16,7
$N_{60}P_{45}K_{90}$	5,07	51,7	4208	8,1	11,9
$N_{120}P_{45}K_{90}$	6,45	65,8	5354	10,8	13,6
$N_{120}P_{45}K_{120}$	6,45	65,8	5354	10,4	12,2
$N_{180}P_{45}K_{90}$	6,92	72,0	5951	12,7	12,9
$N_{180}P_{45}K_{120}$	7,47	76,9	6350	14,9	13,0
Навоз, 10 т, 1 раз в 4 года	3,31	33,4	2714	3,9	*
Навоз, 20 т, 1 раз в 4 раза	3,76	38,4	3121	4,6	*

*Примечание.** – окупаемость 1 т навоза при норме 10 т/га (2,5 т/год) – 332 корм. ед., при норме 20 т/га (5 т/га) – 248 корм. ед.

На неудобренном пастбище использование (вынос с урожаем) травостоями минеральных элементов составило: 50,1 кг/га азота,

11,5 кг P_2O_5 и 26,4 кг K_2O в среднем за 45 лет (табл. 2). Внесение удобрений способствовало значительному увеличению выноса азота и зольных элементов. При подкормке трав только азотными удобрениями вынос фосфора увеличился на 119 %, калия – на 72 %, азота – на 118 %; при подкормке калийными удобрениями – соответственно на 22 %; 123 % и 31 %, при внесении фосфорных удобрений – на 87 %, 7 % и 10 %. Наибольший вынос питательных веществ, превышающий их количество, внесенное с удобрениями, отмечен при подкормке травостоя полным минеральным удобрением в дозах $N_{180}P_{45}K_{120}$.

2. Вынос азота и зольных элементов с урожаем долголетних травостоев, кг/га (среднее за 1976-2020 гг.)

Удобрение	Азот	Фосфор		Калий	
		P	P_2O_5	K	K_2O
Без удобрений	50,1	5,0	11,5	26,4	31,8
K_{90}	59,0	6,1	14,0	58,9	71,0
P_{45}	54,9	9,4	21,5	28,3	34,1
N_{120}	109,0	11,0	25,2	45,4	54,7
$P_{45}K_{90}$	123,4	19,8	45,4	121,8	146,8
$N_{60}P_{45}K_{90}$	129,0	18,4	42,2	99,1	119,4
$N_{120}P_{45}K_{90}$	173,4	23,4	53,6	118,3	142,6
$N_{120}P_{45}K_{120}$	166,1	22,6	51,8	140,4	169,2
$N_{180}P_{45}K_{90}$	202,6	24,3	55,7	129,3	155,8
$N_{180}P_{45}K_{120}$	239,0	25,4	58,2	151,2	182,2
Навоз, 10 т, 1 раз в 4 года	74,1	9,9	22,7	47,7	57,5
Навоз, 20 т, 1 раз в 4 раза	86,1	11,4	26,1	56,5	68,1

Использование азота по сравнению с контролем возрастало в 4,8 раза, фосфора – в 5,1 раза, калия – в 5,7 раза. При подкормке травостоев навозом 10 и 20 т/га (2,5 и 5 т в год) вынос азота с урожаем превышал количество внесенного соответственно в 7,4 и 4,3 раза, вынос фосфора – в 3,6 и 2,1 раза, калия – в 5,1 и 3,0 раза. При этом значительную часть азота и зольных элементов растения использовали из почвенных запасов.

Научно обоснованное применение минеральных и органических удобрений на долголетних пастбищных травостоях способствовало воспроизводству почвенного плодородия [10]. В таблице 3 представлена динамика плодородия почвы за 75 лет использования травостоев (1946-2020 гг.).

3. Влияние удобрений на агрохимические показатели почвы (75-й год опыта, 2020 г.) (слой почвы 0-20 см)

Удобрение	Гумус, т/га	кг/га			*ВЭ, ГДж/га
		азот	P_2O_5	K_2O	
Исходное содержание	45,7	2700	135	158	616
Без удобрений	59,0	2880	54	121	731
$P_{45}K_{90}$	62,1	2925	233	173	757
$N_{60}P_{45}K_{90}$	71,3	2498	254	103	775
$N_{120}P_{45}K_{90}$	63,7	2993	246	87	775
$N_{120}P_{45}K_{120}$	68,4	3150	249	140	826
$N_{180}P_{45}K_{90}$	69,4	3038	173	88	820
$N_{180}P_{45}K_{120}$	63,9	3488	165	101	829
Навоз, 10 т	65,7	3105	325	100	814
Навоз, 20 т	76,1	3263	343	109	894

*Примечание.** – Производство валовой энергии определяли в соответствии с методикой оценки потоков энергии в луговых агроэкосистемах [11].

Без внесения удобрений благодаря дерновообразовательному процессу содержание гумуса – основного показателя плодородия почвы, за 75-и летний период увеличилось на 13,3 т/га, среднегодовой прирост составил 177 кг/га, количество азота – на 180 кг. Содержание P_2O_5 и K_2O снизилось по сравнению с исходными показателями соответственно в 2,5 и 1,3 раза. Несмотря на большие общие запасы фосфора в почве, доступных его соединений содержится мало, и для получения устойчивой урожайности необходимо вносить фосфорные удобрения. Энергетический потенциал почвенного плодородия вырос на 19 %. При внесении минеральных и органических удобрений содержание гумуса увеличилось на 36-65 %, азота – на 7-29 %, фосфора – на 28-154 %. Содержание обменного калия в почве снизилось до 87-140 кг/га в результате высокого вы-

носа его с урожаем, на 49-66 кг/га, превышающим дозы его внесения, что указывает на необходимость увеличения количества вносимого калия на перспективу.

Таким образом, в результате экспериментальной оценки эффективности минеральных и органических удобрений на культурных пастбищах выявлен биологический потенциал продуктивности долголетних фитоценозов: от 23 ГДж/га обменной энергии (1,9 тыс. корм ед.) до 77 ГДж/га (6,4 тыс. корм. ед.) в среднем за 45 лет. Максимальное производство пастбищного корма – 77 ГДж/га обменной энергии (6,4 тыс. корм. ед.), 14,9 ц/га сырого протеина отмечено на фоне полного минерального удобрения – $N_{180}P_{45}K_{120}$. При долголетнем использовании травостоев на всех изучаемых фонах удобрения отмечено воспроизводство почвенного плодородия: увеличение накопления гумуса и азота в слое почвы 0-20 см по сравнению с исходными показателями соответственно на 16,4-30,4 т/га и 225-788 кг/га.

Литература

1. Программа и методика проведения научных исследований по луговодству: (по Межведомственной координационной программе НИР Россельхозакадемии на 2011-2015 гг.) / А.А. Кутузова, К.Н. Привалова, А.А. Зотов [и др.]. – Москва: Российский центр сельскохозяйственного консультирования, 2011. – 192 с.

2. Трофимова, Л.С. Управление травяными экосистемами из многолетних трав / Л.С. Трофимова, В.А. Кулаков // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 4. – С. 67-69.

3. Кулаков, В.А. Закономерности формирования долголетних пастбищных фитоценозов и их продуктивность / В.А. Кулаков, Д.А. Алтунин // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов. Вып. 8(56) – Москва. Угрешская типография, 2015. – С. 75-79.

4. Привалова, К.Н. Продуктивность долголетних культурных пастбищ и плодородие почвы при разных технологических системах ведения / К.Н. Привалова, Д.А. Алтунин, Р.Р. Каримов // Кормопроизводство. – 2018. – № 9. – С. 5-8.

5. Привалова, К.Н. Эффективность пастбищных технологий с долголетними фитоценозами / К.Н. Привалова // Адаптивное кормопроизводство. – 2017. – № 1. – С. 62-70.

6. Тебердиев, Д.М. Продуктивность долголетнего сенокоса в условиях длительного применения минеральных и органических удобрений / Д.М. Тебердиев, А.В. Родионова // Продовольственная безопасность сельского хозяйства России в XXI веке. Жученковские чтения II : сборник научных трудов, Лобня, 23 сентября 2016 года. – Лобня: Угрешская типография, 2016. – С. 206-211.

7. Тебердиев, Д. М. Средообразующая роль луговых агрофитоценозов в условиях длительного применения минеральных и органических удобрений / Д. М. Тебердиев, В. М. Косолапов, В. А. Кулаков // Агрохимическое обслуживание сельского хозяйства: теория, практика и инновации. – Научный : ГУ «Республиканский научно-методический центр агрохимической службы», 2014. – С. 164-172.

8. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа / В.М.Косолапов, В.А. Чуйков, Х. К. Худякова, В.Г. Косолапова. – Москва : Угрешская типография, 2019. – 272 с. – ISBN 978-5-91850-037-8. – DOI 10.33814/monography_1654.

9. Привалова, К.Н. Урожайность долголетних пастбищных травостоев в зависимости от погодных условий / К. Н. Привалова, Р.Р. Каримов, Д.А. Алтунин // Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Терентия Семеновича Мальцева, Курган, 05 ноября 2020 года. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. – С. 296-300.

10. Кулаков, В.А. Продуктивность пастбищных агрофитоценозов длительного пользования и плодородие почвы при разных уровнях применения удобрений / В.А. Кулаков, Д.А. Алтунин, Т.В. Леонидова // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. – Москва : ООО «Угрешская типография», 2017. – С. 13-18.

11. Кутузова, А.А. Методика оценки потоков энергии в луговых агроэкосистемах / А.А. Кутузова, Л.С. Трофимова, Е.Е. Проворная. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Угрешская типография, 2015. – 32 с. – ISBN 978-5-91850-030-9.

CHANGE IN PRODUCTIVITY OF CULTURAL PASTURES AND SOIL FERTILITY UNDER THE INFLUENCE OF LONG (75 YEARS) APPLICATION OF FERTILIZERS

Privalova Kira Nikolaevna, Karimov Ruslan Robertovich

Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology
141055 Lobnya, Moscow Region, vik_lugovod@bk.ru

Annotation. The article presents the results of research on the effect of long-term (75 years) use of mineral and organic fertilizers on the productivity of cultivated pastures and the main indicators of soil fertility. Productivity indicators, depending on the level of fertilizers, varied from 23 to 77 GJ/ha of OE (1,9-6,4 thousand feed units). With the long-term use of fertilized grass stands, an increase in the accumulation of humus in the soil by 36-55% was noted.

Keywords: long-term cultural pastures; fertilizer; productivity; soil fertility.

УДК 631.86:633.14

ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ИЗМЕНЕНИЕ БАЛАНСА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В СЕВООБОРОТЕ СО ЛЬНОМ-ДОЛГУНЦОМ

М.Н. Рысев, Е.С. Волкова, М.В. Дятлова
ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь
180559 Псковская обл., Псковский р-н, д. Родина, ул. Мира, д. 1,
тел. 8 (8112) 673-119e.volkova.psk@fnclk.ru

Аннотация. В условиях двух ротаций стационарного опыта изучено влияние комплексного применения средств химизации на продуктивность льняного севооборота и плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Приведены данные о продуктивности севооборота, изменении агрохимических показателей в почве, содержании в растениях и выносе урожаем основных элементов питания. Показано, что положительный баланс фосфора с интенсивностью 112,6-228,5% в первую и вторую ротации был достигнут при условии применения минеральных удобрений по всем паровым предшественникам (сидеральному, унавоженному и чистому парам). Положительный баланс калия с интенсивностью 103,4-138,7% получен при комплексном применении органических (сидератов и навоза) и минеральных удобрений за исключением совместного их применения с известкованием. На известкованном фоне наблюдался повышенный вынос калия, вследствие чего интенсивность его баланса составляла 72,9-91,5%. Положительному балансу азота в первую ротацию с интенсивностью 113,1-114,3% способствовало применение навоза в паровом поле и внесение минеральных удобрений. Введение во вторую ротацию клеверного поля обеспечивало положительный баланс азота с интенсивностью 104,9-121,6% по сидеральному пару при внесении минеральных удобрений.

Ключевые слова: баланс элементов питания; продуктивность севооборота; средства химизации; плодородие.

Основным средством производства в земледелии является почва, поддержание плодородия которой одна из важнейших задач для каждого производителя сельскохозяйственной продукции. Особенно это относится к Нечерноземной зоне, где пахотные земли характеризуются рядом неблагоприятных признаков: временным или длительным избыточным увлажнением, плохими физическими свойствами, повышенной кислотностью, низким содержанием органического вещества, недостаточной обеспеченностью элементами минерального питания, низкой нитрификационной способностью. Экстенсивное земледелие в данных условиях приводит к истощению почвы. Для создания положительного баланса и обеспечения систематического роста урожаев на дерново-подзолистых почвах необходимо компенсировать вынос урожаем азота не менее 90%, фосфора и калия на 100-110%. С целью улучшения фосфатного и калийного режима почв интенсивность баланса фосфора может составлять 200-300%, калия – 130-170% [1, 2, 3].

Применение средств химизации: органических (навоза, сидератов), минеральных удобрений, проведение известкования, а также применение микроудобрений (МЭ) и микробиологических препаратов (МБП) способствует увеличению в почве доступных для растений соединений питательных веществ, что является одним из основных условий формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур [4-8].

Изучение изменения запасов элементов питания, определение их баланса имеет важное значение для рационального использования агрохимических средств. Баланс питательных веществ в земледелии складывается из расходных (вынос урожаем сельскохозяйственных культур, потери в результате эрозии почвы, денитрификации, инфильтрации) и приходных (поступление с удобрениями, симбиотическая и ассоциативная фиксация атмосферного азота,

приток с атмосферными осадками, внесение с семенами и посадочным материалом) статей [9].

Необходимость регулирования баланса и устранения дефицита питательных веществ в льняном севообороте обусловлена биологическими особенностями льна-долгунца. Растения льна имеют слаборазвитую корневую систему, которая обладает слабой способностью усваивать питательные вещества из труднодоступных соединений. В условиях повышенной кислотности почвы растения льна страдают от токсического действия ионов алюминия, а на известкованных и карбонатных почвах – от избытка ионов кальция и недостатка бора. Эти факторы определяют повышенные требования культуры к питательному режиму. Исследованиями установлено, что для получения высококачественного льноволокна должно соблюдаться определенное соотношение фосфора и калия в питательной среде [10].

Цель исследований – изучить влияние различных агрохимических приёмов: известкования почвы, внесения органических, минеральных удобрений, применения микроудобрений и микробиологических препаратов на изменение баланса основных элементов питания сельскохозяйственных культур в севообороте со льном-долгунцом.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи: 1) установить влияние изучаемых агрохимических средств на продуктивность культур севооборота; 2) определить содержание основных элементов в основной и побочной продукции и рассчитать их хозяйственный вынос; 3) рассчитать баланс NPK и его интенсивность в зависимости от исследуемых приёмов.

Методика исследований

Исследования проводили в стационарном полевом опыте в 2006-2015 годах на опытном поле отдела агрохимии Псковского НИИСХ (в настоящее время – лаборатория агротехнологий ФНЦ ЛК ОП Псковский НИИСХ). Опыт заложен в севообороте со следующим чередованием культур: паровое поле – озимые зерновые –

травы – ячмень – лён-долгунец. Схема опыта включала 3 вида паров на фоне известкования и без внесения извести: чистый пар, пар с внесением навоза и сидеральный пар. На данных шести фонах изучалось влияние следующих факторов: 1. Контроль – без удобрений; 2. Микробиологические препараты (МБП); 3. NPK; 4. NPK+МБП; 5. NPK+микроэлементы (МЭ); 6. NPK+МЭ+МБП.

Известь, навоз КРС и сидеральные удобрения вносили в паровом поле. Норма внесения навоза – 40 т/га в I-ю ротацию, 30 т/га во II-ю ротацию. В качестве сидеральной культуры в паровом поле возделывался яровой рапс. Зеленую массу рапса, урожайностью 220 и 330 ц/га соответственно, в фазу цветения скашивали, измельчали и запахивали. Почву известковали в дозе, эквивалентной 0,5 гидролитической кислотности, как оптимальной для севооборотов со льном-долгунцом на почвах лёгкого гранулометрического состава. Минеральные удобрения вносили в I-ю ротацию в дозах: под озимую рожь «Жнивень» – $N_{60}P_{30}K_{80}$; яровой рапс «Оредежский» – $N_{80}P_{80}K_{110}$; ячмень «Эльф» – $N_{90}P_{60}K_{90}$, лен-долгунец «Восход» – $N_{20}P_{60}K_{60}$, всего – $N_{250}P_{230}K_{340}$. Во II-ю ротацию: под озимую пшеницу «Московская-39» – $N_{90}P_{60}K_{90}$; клевер луговой «Трио» – $N_{40}P_{40}K_{60}$; ячмень «Эльф» – $N_{40}P_{40}K_{90}$; лен-долгунец «Добрыня» $N_{20}P_{20}K_{45}$; всего – $N_{190}P_{160}K_{285}$. Микробиологические препараты применяли для обработки семян и посевов. Для обработки семян озимой ржи использовали МБП «Ризоагрин». Семена ячменя, рапса, озимой пшеницы перед посевом были обработаны МБП «Экстрасол». Семена клевера перед посевом инокулировали клубеньковыми бактериями, содержащимися в ризоторфине. «Экстрасол» для обработки семян применялся в виде 10% раствора, для внекорневой обработки по вегетирующим растениям – в виде 1% рабочего раствора с нормой расхода препарата 2 л/га.

Микроэлементные удобрения в I-ю ротацию вносили в виде растворов сульфата цинка из расчета 2,0 кг/га и борной кислоты из расчета 1,5 кг/га. Последействие МЭ изучали на культурах ячменя и льна-долгунца. Во II-ю ротацию исследовали эффективность но-

вого микроэлементного удобрения хелатного типа «Аквадон-Микро». Удобрение «Аквадон-Микро» применялось в виде 1% раствора для обработки вегетирующих растений с нормой расхода препарата 2 л/га. Микробиологические препараты и микроэлементное удобрение «Аквадон-Микро» применяли на посевах зерновых в фазу кущения и выхода в трубку, многолетних трав – в фазу отрастания, на льне-долгунце – дважды в фазу ёлочки. Возделывание культур в севообороте проводили в соответствии с общепринятыми для зоны технологиями с использованием химических средств защиты растений.

Площадь опытной делянки – 72 $м^2$, учетной делянки – 55 $м^2$, повторность трехкратная. Учет урожая: зерновых, многолетних трав, рапса на семена и льносоломы – сплошной, поделяночный; льносемян – методом пробного снопа.

Наблюдения, исследования и аналитические работы выполнены в соответствии с методическими указаниями и утверждёнными стандартами [11-13].

Математическая обработка полученных данных проводилась методом многофакторного дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову с помощью программы Excel [14].

Почва опытного участка – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая, среднеокультуренная на морене, подстилаемой элювием известняковой плиты глубже 1 м, с содержанием физической глины: частиц <0,01 – 28% и песка: >0,01 – 72%. Строение профиля: пахотный горизонт – 30 см, отсутствие подзолистого горизонта и наличие отдельностей ореховатой структуры; в иллювиальном горизонте – охристые пятна, примазки, стяжения железа и марганца, призматическая структура. Почва до закладки опыта имела следующие агрохимические показатели: pH – 5,1; содержание гумуса 2,27%; P_2O_5 – 327 мг/кг почвы и K_2O – 154 мг/кг почвы (по Кирсанову); гидролитическая кислотность – 5,7 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 3,6 мг-экв/100 г почвы; содержание

подвижных форм микроэлементов: бор по методу Бергера и Труога – 0,31 мг/кг; молибден по методу Грига – 0,2 мг/кг.

Анализ экспериментальных данных, полученных на протяжении двух ротаций севооборота показал, что среднегодовая продуктивность севооборота на контрольном варианте была равна 29,4 ц з. ед./га (табл. 1). Максимальный выход зерновых единиц (33,3 ц з. ед./га) установлен по унавоженному пару. По сидеральному пару получено 26,5 ц з. ед./га. Известкование способствовало росту урожая культур севооборота в среднем на 6,1%. Значимые эффекты от внесения извести получены по всем видам паров: по сидеральному пару, где урожайность повышалась, в среднем по фону, с 34,1 до 37,2 ц з. ед./га или на 9,0%; по унавоженному пару, при повышении урожайности с 38,0 до 39,8 ц з. ед./га, или на 6,3% и по чистому пару с 35,2 до 37,1 ц з. ед./га или на 5,4%.

1. Продуктивность севооборота со льном-долгунцом, ц з.е./га, в среднем за год по данным двух ротаций

Варианты опыта	Пар сидеральный (Ф1)		Пар + навоз 40 т/га (Ф2)		Пар чистый (Ф3)		В среднем	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Без внесения извести								
0	26,5	93,8	33,3	117,7	28,3	100,0	29,4	100,0
МБП	28,4	100,2	34,3	121,4	30,1	106,3	30,9	105,2
NPK	35,1	124,0	40,0	141,5	36,6	129,3	37,2	126,7
NPK+МБП	36,7	129,5	39,2	138,4	36,4	128,5	37,4	127,2
NPK+МЭ	38,5	136,0	40,3	142,5	39,3	139,0	39,4	134,0
NPK+МБП+МЭ	39,4	139,1	40,7	143,9	40,4	142,7	40,2	136,6
Ср. по фону	34,1		38,0		35,2		35,7	
С внесением извести								
0	29,5	104,2	35,4	125,1	28,7	101,4	31,2	106,1
МБП	31,6	111,5	37,3	131,9	32,4	114,6	33,8	114,9
NPK	38,8	137,2	39,8	140,5	38,7	136,6	39,1	132,9
NPK+МБП	40,4	142,9	40,6	143,3	39,3	138,9	40,1	136,4
NPK+МЭ	42,0	148,4	43,7	154,3	41,8	147,8	42,5	144,5
NPK+МБП+МЭ	40,9	144,5	41,9	148,0	41,5	146,7	41,4	140,9
Ср. по фону	37,2		39,8		37,1		38,0	
Ср. по опыту	35,6		38,9		36,1		36,9	

$НСР_{05}$ – для паров 2,1; для известкования 1,7; для минеральных удобрений 2,1; для МБП и МЭ 1,7 ц з.ед./га.

Совместное внесение извести и навоза способствовало повышению продуктивности севооборота по отношению к контрольному варианту на 25,1%. Внесение минеральных удобрений существенно повышало выход зерновых единиц, в среднем – на 7,8 ц з. ед./га, что составляло 26,7%. Причем, внесение минеральных удобрений на известкованном фоне оказывало большее положительное действие на урожайность. Эффективность минеральных удобрений зависела и от видов паров.

По унавоженному пару действие минеральных удобрений хоть и было значимым, было слабее, чем по сидеральному и чистому парам. Если прибавка от NPK, внесенных по навозу была равна 6,7/4,4 ц з. ед./га (без известкования/с известкованием), то по сидеральному и чистому парам она была равна 8,6/9,3 и 8,3/10 ц з. ед./га соответственно. Известкование также повышало эффективность микробиологических препаратов и микроэлементных удобрений. Средняя прибавка урожая от МБП была равна 1,5/2,6 ц з. ед./га или 5,1/8,3%. Микроэлементные удобрения, внесенные по фону NPK, способствовали получению дополнительно 2,2 ц з. ед./га или 5,9%, а в комплексе с известкованием – 3,4 ц з. ед./га или 8,7%. Наибольшая, в среднем по парам, продуктивность севооборота – 42,5 ц з. ед./га – установлена в результате комплексного окультуривания дерново-подзолистой почвы (внесение извести, минеральных удобрений и микроэлементов), где дополнительно получено 44,5% урожая. При этом, 43,7 ц з. ед./га или 54,3% к контролю получено по унавоженному пару; 42,0 ц з. ед./га или 48,4% к контролю – по сидеральному пару; 41,8 ц з. ед./га или 47,8% к контролю – по чистому пару.

В таблице 2 представлено изменение показателей кислотно-щелочного режима почвы под влиянием минеральных удобрений и извести на протяжении двух ротаций севооборота. Отмечено, что показатели pH на контрольном варианте находились в пределах 4,50-4,93, при внесении NPK – (4,38-4,73). На известкованных делянках pH достигал максимальных значений в первые два-три года,

а к завершению каждой ротации стремился к исходному. Это наблюдение доказывает, что без систематического окультуривания показатели кислотно-щелочного режима дерново-подзолистых почв ухудшаются.

2. Динамика показателей кислотно-щелочного режима почвы

Варианты опыта	Годы исследований									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
pH										
Фон	4,50	4,87	4,93	4,57	4,63	4,59	4,70	4,61	4,65	4,60
Ф+NPK	4,43	4,73	4,67	4,50	4,50	4,38	4,53	4,40	4,53	4,51
Ф+$CaCO_3$	4,90	5,33	5,37	4,80	4,77	5,09	5,19	4,92	4,96	4,92
Ф+NPK+$CaCO_3$	4,70	5,20	5,10	4,67	4,73	5,15	5,22	5,10	4,98	4,98
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г										
Фон	5,60	5,10	5,17	4,67	4,97	5,31	4,28	4,90	4,96	6,67
Ф+NPK	5,27	5,23	5,57	4,87	5,20	5,57	4,57	5,28	4,84	6,93
Ф+$CaCO_3$	4,80	4,30	4,97	4,27	4,77	4,17	3,46	4,06	4,20	5,46
Ф+NPK+$CaCO_3$	4,80	4,40	4,90	4,83	4,67	4,00	3,42	3,67	3,97	5,34
Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г почвы										
Фон	2,60	3,80	3,40	5,33	3,83	3,43	4,42	4,23	3,67	3,80
Ф+NPK	2,93	4,10	1,93	5,13	3,50	2,67	3,67	3,57	3,45	3,04
Ф+$CaCO_3$	3,27	5,57	3,27	5,83	4,20	5,13	5,78	5,60	4,53	5,06
Ф+NPK+$CaCO_3$	4,03	4,93	2,13	5,57	4,03	4,20	5,13	5,43	4,03	4,49

Использование средств химизации способствовало повышению содержания основных элементов питания. Существенное влияние оказывали минеральные удобрения, повышающие содержание элементов питания: подвижного фосфора на 17-40 мг/кг в 2010 году и на 35-77 мг/кг в 2015 году и обменного калия на 18-35 мг/кг и на 57-107 мг/кг соответственно в сравнении с контрольным вариантом (табл. 3). Возделывание культур севооборота без внесения удобрений приводило к снижению в почве питательных веществ. В ходе исследований установлено: на контрольных вариантах (без NPK) за ротацию содержание P_2O_5 уменьшилось на 30,0-42,0 мг/кг, K_2O – на 35-42 мг/кг почвы.

На содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве оказало положительное влияние внесение органических удобрений (навоза и сидератов) в паровом поле, в результате чего по окончании II-й ротации севооборота в сравнении с чистым паром

содержание P_2O_5 в почве было выше на 7-26 мг/кг, K_2O – на 7-55 мг/кг, в зависимости от вариантов.

3. Влияние исследуемых приемов на содержание подвижного фосфора и обменного калия, мг/кг

Варианты опыта	Пар сидеральный (Ф1)				Пар унавоженный (Ф2)				Пар чистый (Ф3)			
	P_2O_5		K_2O		P_2O_5		K_2O		P_2O_5		K_2O	
	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
фон без извести												
0	247	209	131	96	253	213	128	101	247	205	106	86
МБП	250	219	128	96	245	249	125	109	257	223	115	96
NPK	265	244	149	203	282	290	151	158	280	269	141	148
NPK+МБП	277	267	145	159	272	283	160	160	277	263	143	155
фон с известкованием												
0	235	205	129	78	247	209	135	93	252	217	119	84
МБП	235	221	130	98	260	249	146	114	267	234	112	91
NPK	252	262	151	157	272	268	153	184	292	264	148	147
NPK+МБП	270	248	148	170	270	266	159	182	297	256	149	131

Для расчёта выноса элементов питания из почвы использовали полученные в ходе лабораторных исследований данные о содержании их в растениях и данные по урожайности культур севооборота. Применение органических и минеральных удобрений, известкования, микроэлементов и микробиологических препаратов существенно повышало вынос элементов питания растениями с единицы площади, в первую очередь, за счет повышения урожайности (табл. 4 и 5).

Баланс элементов питания за ротацию севооборота является важной составной частью системы удобрения. Проведенные расчеты баланса основных элементов питания показали, что потребность возделываемых культур в питательных веществах на отдельных вариантах была значительна и не удовлетворялась источниками их пополнения.

В I-ю ротацию отрицательный баланс азота получен на всех вариантах чистого пара (табл. 4). Компенсация выноса азота, фосфора

и калия содержащимися в сидеральном удобрении элементами была недостаточной. Положительному азотному балансу способствовало внесение минеральных удобрений на фоне унавоженного пара.

4. Баланс элементов питания в I-ю ротацию севооборота со льном-долгунцом, кг/га

Варианты опыта	Поступило			Вынос			Баланс		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Ф1	89,0	23,0	115,0	217,9	115,0	210,2	-128,9	-92,0	-95,2
Ф1+МБП	89,0	23,0	115,0	238,3	119,2	244,4	-149,3	-96,2	-129,4
Ф1+NPK	339,0	253,0	485,0	362,1	164,4	349,8	-23,1	88,6	135,2
Ф1+NPK +МЭ	339,0	253,0	485,0	433,9	201,4	662,8	-94,9	51,6	-177,8
Ф1+Ca	89,0	23,0	115,0	201,3	118,0	213,1	-112,3	-95,0	-98,1
Ф1+МБП +Ca	89,0	23,0	115,0	244,5	127,6	254,2	-155,5	-104,6	-139,2
Ф1+NPK +Ca	339,0	253,0	485,0	407,9	175,7	453,0	-68,9	77,3	32,0
Ф1+NPK +Ca+МЭ	339,0	253,0	485,0	398,5	182,0	456,6	-59,5	71,0	28,4
Ф2	200,0	72,0	80,0	255,9	136,2	265,7	-55,9	-64,2	-185,7
Ф2+МБП	200,0	72,0	80,0	262,3	140,1	282,7	-62,3	-68,1	-202,7
Ф2+NPK	450,0	302,0	450,0	397,9	187,0	430,4	52,1	115,0	19,6
Ф2+NPK +МЭ	450,0	302,0	450,0	421,6	189,1	539,3	28,4	112,9	-89,3
Ф2+Ca	200,0	72,0	80,0	265,4	134,8	301,3	-65,4	-62,8	-221,3
Ф2+МБП +Ca	200,0	72,0	80,0	295,7	152,6	302,3	-95,7	-80,6	-222,3
Ф2+NPK +Ca	450,0	302,0	450,0	393,6	187,8	384,9	56,4	114,2	65,1
Ф2+NPK +Ca+МЭ	450,0	302,0	450,0	400,3	185,3	476,3	49,7	116,7	-26,3
Ф3	0,0	0,0	0,0	209,3	116,7	224,7	-209,3	-116,7	-224,7
Ф3+МБП	0,0	0,0	0,0	230,4	114,8	245,6	-230,4	-114,8	-245,6
Ф3+NPK	250,0	230,0	370,0	331,8	150,9	434,5	-81,8	79,1	-64,5
Ф3+Ca	0,0	0,0	0,0	198,5	112,0	223,7	-198,5	-112,0	-223,7
Ф3+МБП +Ca	0,0	0,0	0,0	247,7	132,4	266,3	-247,7	-132,4	-266,3
Ф3+NPK +Ca	250,0	230,0	370,0	371,1	174,4	440,5	-121,1	55,6	-70,5

Положительный баланс фосфора установлен по всем паровым предшественникам при внесении минеральных удобрений. По чистому пару отрицательный баланс калия получен не только на кон-

троле, но и при внесении минеральных удобрений. Улучшало калийный баланс внесение сидератов, и в меньшей степени, навоза.

5. Баланс элементов питания во II-ю ротацию севооборота со льном-долгунцом, кг/га

Варианты опыта	Поступило			Вынос			Баланс		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Ф1	245,6	52,3	117,7	292,1	85,2	265,4	-46,5	-32,9	-147,7
Ф1+МБП	260,6	52,3	117,7	330,1	91,8	292,1	-69,5	-39,5	-174,3
Ф1+NPK	451,9	212,3	402,7	371,6	92,9	329,5	80,3	119,4	73,2
Ф1+NPK+ МЭ	464,8	212,3	402,7	406,7	109,6	384,1	58,1	102,7	18,6
Ф1+Ca	280,6	52,3	117,7	367,2	109,7	336,8	-86,6	-57,4	-219,0
Ф1+МБП+Ca	273,4	52,3	117,7	374,1	113,9	384,0	-100,7	-61,6	-266,3
Ф1+NPK+Ca	477,8	212,3	402,7	455,6	129,1	440,2	22,3	83,2	-37,5
Ф1+NPK+Ca +МЭ	541,5	212,3	402,7	559,5	135,1	460,7	-18,0	77,2	-58,0
Ф2	256,5	54,0	180,0	403,8	118,9	385,9	-147,3	-64,9	-205,9
Ф2+МБП	271,1	54,0	180,0	442,0	119,7	417,1	-170,9	-65,7	-237,1
Ф2+NPK	464,4	214,0	465,0	492,8	131,0	501,5	-28,5	83,0	-36,5
Ф2+Ca	276,4	54,0	180,0	442,6	127,6	437,4	-166,2	-73,6	-257,4
Ф2+МБП+Ca	282,3	54,0	180,0	470,3	132,7	488,3	-188,1	-78,7	-308,3
Ф2+NPK+Ca	501,3	214,0	465,0	558,3	148,6	582,4	-57,0	65,4	-117,4
Ф2+NPK+Ca +МЭ	509,1	214,0	465,0	580,9	158,5	637,6	-71,8	55,5	-172,6
Ф3	107,4	0,0	0,0	342,2	98,6	336,2	-234,8	-98,6	-336,2
Ф3+МБП	108,3	0,0	0,0	341,9	100,1	348,7	-233,7	-100,1	-348,7
Ф3+NPK	292,2	160,0	285,0	376,3	104,9	398,7	-84,1	55,1	-113,7
Ф3+NPK+ МЭ	289,0	160,0	285,0	399,0	113,7	452,1	-110,1	46,3	-167,1
Ф3+Ca	123,8	0,0	0,0	379,5	111,8	335,4	-255,7	-111,8	-335,4
Ф3+МБП+Ca	128,6	0,0	0,0	420,9	122,3	396,0	-292,3	-122,3	-396,0
Ф3+NPK+Ca	349,0	160,0	285,0	495,0	133,3	484,5	-146,1	26,7	-199,5
Ф3+NPK+Ca +МЭ	336,1	160,0	285,0	472,6	128,1	458,2	-136,5	31,9	-173,2

Во II-ю ротацию дефицит азота по чистому пару сохранялся. Введение в севооборот клеверного поля позволило получить поло-

жительный баланс азота в условиях сидерального пара на делянках с минеральными удобрениями (табл. 5). По унавоженному пару установлен наибольший вынос азота с урожаем. В связи с этим, вероятно содержания данного питательного элемента было недостаточно в удобрениях, вносимых в период 2011-2015 гг. Положительный баланс фосфора наблюдался, как и в I-ю ротацию, при внесении минеральных удобрений по всем паровым предшественникам. Положительный баланс калия установлен по сидеральному и унавоженному неизвесткованным парам. Необходимо отметить, что известкование почвы способствовало увеличению выноса калия, что и привело к его дефициту.

Дефицит калия отмечен в большей степени на неудобренных вариантах. По чистому известкованному пару он достигал 396,0 кг/га. Такие приемы, как известкование, внесение навоза, обработки МБП способствовали повышению расходной статьи баланса – выноса элемента с урожаем, тем самым повышая дефицит калия и снижая интенсивность его баланса.

В I-ю ротацию интенсивность баланса азота по сидеральному пару без внесения минеральных удобрений составила 40,8% от необходимого количества, а с обработками МБП на 2,7% меньше – 37,3%; интенсивность баланса фосфора – 20,0 и 19,3%, а калия – 54,7 и 47,1% соответственно (табл. 6). Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{250}P_{230}K_{370}$ за ротацию способствовало повышению интенсивности баланса азота до 93,6%, фосфора – до 153,9% и калия – до 138,7%.

При внесении 40 т/га навоза, за счет элементов питания, содержащихся в удобрении, вынос азота растениями был компенсирован на 78,1/76,3%, фосфора – на 52,9/51,4%, калия – на 30,1/28,3%. Внесение минеральных удобрений по унавоженному пару способствовало повышению интенсивности баланса азота до 113,1%, фосфора – до 161,5%, калия – до 104,5%.

Введение клеверного поля в севооборот улучшило показатель интенсивности баланса азота, так как в расчёт были включены зна-

чения биологического азота. По сидеральному пару удалось компенсировать вынос элемента на 104,9-121,6% при внесении минеральных удобрений, фосфора – на 127,2-228,5%, калия – на 104,8-122%. По унавоженному и чистому парам интенсивность баланса фосфора была значительной, в то время как азота и калия – существенно ниже.

6. Интенсивность баланса питательных элементов в севообороте со льном-долгунцом, %

Варианты опыта	I-я ротация			II-я ротация		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Ф1	40,8	20,0	54,7	84,1	61,4	44,4
Ф1+МБП	37,3	19,3	47,1	79,0	57,0	40,3
Ф1+NPK	93,6	153,9	138,7	121,6	228,5	122,2
Ф1+NPK+ МЭ	78,1	125,6	73,2	114,3	193,6	104,8
Ф1+Ca	44,2	19,5	54,0	76,4	47,7	35,0
Ф1+МБП+Ca	36,4	18,0	45,2	73,1	45,9	30,7
Ф1+NPK+Ca	83,1	144,0	107,1	104,9	164,5	91,5
Ф1+NPK+Ca+МЭ	85,1	139,0	106,2	96,8	157,2	87,4
Ф2	78,1	52,9	30,1	63,5	45,4	46,6
Ф2+МБП	76,3	51,4	28,3	61,3	45,1	43,2
Ф2+NPK	113,1	161,5	104,5	103,5	175,8	106,9
Ф2+NPK+МЭ	106,7	159,7	83,4	96,5	164,5	104,0
Ф2+Ca	75,3	53,4	26,6	62,5	42,3	41,2
Ф2+МБП+Ca	67,6	47,2	26,5	60,0	40,7	36,9
Ф2+NPK+Ca	114,3	160,8	116,9	89,8	144,0	79,8
Ф2+NPK+Ca+МЭ	112,4	162,9	94,5	87,6	135,0	72,9
Ф3	0,0	0,0	0,0	31,4	0,0	0,0
Ф3+МБП	0,0	0,0	0,0	31,7	0,0	0,0
Ф3+NPK	75,4	152,4	85,2	77,7	152,5	71,5
Ф3+NPK+МЭ	60,1	119,3	74,3	72,4	140,7	63,0
Ф3+Ca	0,0	0,0	0,0	32,6	0,0	0,0
Ф3+МБП+Ca	0,0	0,0	0,0	30,6	0,0	0,0
Ф3+NPK+Ca	67,4	131,9	84,0	70,5	120,0	58,8
Ф3+NPK+Ca+МЭ	62,6	112,6	92,6	71,1	124,9	62,2

В результате исследований установлено, что положительный баланс элементов питания в севообороте со льном-долгунцом обеспечивало комплексное внесение органических и минеральных удобрений. Наиболее благоприятные показатели интенсивности баланса NPK были после комплексного применения сидератов, мине-

ральных удобрений и микроэлементов. Известкование, внесение навоза, обработки МБП способствовали повышению расходной статьи баланса – выноса элементов с урожаем, тем самым повышая их дефицит и снижая интенсивность баланса.

Литература

1. Щербаков А. П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. М.: Колос, 1983. 189 с.

2. Сычев В. Г. Географическая сеть с удобрениями – научное наследие академика Д. Н. Прянишникова // Фундаментальные исследования по созданию новых средств химизации и наследие академика Д. Н. Прянишникова: Тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конфер., посвящённой 150-летнему юбилею академика Д. Н. Прянишникова. М.: ВНИИА, 2015. С. 5 – 11.

3. Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Баланс питательных веществ в условиях различного насыщения севооборота удобрениями // Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах: Матер. Междунар. науч. конфер. / под ред. академика РАН В.Г. Сычева. М.: Изд-во ВНИИА, 2018. С. 169 – 174.

4. Небольсин А.Н., Сычев В.Г. Эколого-экономические основы и рекомендации по известкованию, адаптированные к конкретным почвенным условиям. М.: Изд-во ЦИНАО. 2000.

5. Довбан К.И. Применение сидеральных удобрений в земледелии (рекомендации). Минск: Изд-во БелНИИНТИ, 1990.

6. Чеботарь В.К., Завалин А.А., Кипрушкина Е.И. Эффективность применения биопрепарата «Экстрасол". М.: Изд-во ВНИИА 2007.

7. Биопрепараты в сельском хозяйстве. Методология и практика использования микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве. /под редакцией И.А. Тихоновича, Ю.В. Круглова. М. 2005.

8. Удобрение комплексное микроэлементное «Аквадон-Микро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aquadon-micro.ru/, свободный.

9. Методическое руководство по проектированию и применению удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. / под ред. А. Л. Иванова, Л. М. Державина. М.: Изд-во Минсельхоз РФ РАСХН, 2008. 392 с.

10. Тихомирова В. Я. Влияние органического удобрения на баланс азота, фосфора и калия в льняном севообороте // Агрохимия, 2010. №4. С. 31-34.

11. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч.1. М.: Изд-во ВАСХНИЛ. 1986. 146 с.

12. ГОСТ 26204-84 – ГОСТ 26213-84. Почвы. Методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984. 54 с.

13. Методические указания к выполнению лабораторно-практических работ по курсу агрохимии (анализ растений). Ленинград-Пушкин: Изд-во ЛСХИ. 1975. 23 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос. 1985. 296 с.

INFLUENCE OF THE AGROCHEMICAL MEANS ON THE CHANGE OF NUTRITION ELEMENT BALANCE IN CROP ROTATION WITH FIBER FLAX

Rysev M.N., Volkova E.S., Dyatlova M.V.
Federal Research Center of Bast Fiber Crops, Tver, Russia
e.volkova.psk@fnclk.ru

Annotation. Under the conditions of two rotations of the stationary experiment, the influence of the complex application of agrochemicals means on the productivity of fiber flax crop rotation and the fertility of sod-podzolic light loamy soil was studied. Data on crop rotation productivity, changes in agrochemical indicators in the soil, the content and removal of basic nutrients are presented. It is shown that a positive phosphorus balance with an intensity of 112.6-228.5% in the first and second rotations was achieved under the condition of the use of mineral fertilizers for all steam precursors (sideral, steam with manure and pure steam). A positive potassium balance with an intensity of 103.4-138.7% was obtained with the combined use of organic (siderates and manure) and mineral fertilizers, except for their combined use with liming. On a limed background, increased potassium removal was observed, as a result of which the intensity of the potassium balance was 72.9-91.5%. The positive nitrogen balance in the first rotation with an intensity of 113.1-114.3% was facilitated by the complex application of manure in the steam field and the introduction of mineral fertilizers. The introduction of a clover field into the second rotation provided a positive nitrogen balance with an intensity of 104.9-121.6% by sideral steam with applying mineral fertilizers.

Keywords: balance of nutrition elements; crop rotation productivity; agrochemicals means; fertility.

УДК 633.2.031:631.8

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕНОКОСНЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

Т.М. Тебердиев, А.В. Родионова,
С.А. Запивалов, М.А. Щанникова
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В.Р. Вильямса», г. Лобня Московской области,
e-mail: vik_lugovod@bk.ru

Аннотация. За последние семь лет использования долголетних сенокосных фитоценозов (2014–2020 гг.) более высокая продуктивность получена в техногенно-минеральной интенсивной системе – 6,1–8,3 т/га сухого вещества, 59,6–81,8 ГДж/га обменной энергии, 4,6–6,3 тыс. корм. ед./га, 712,4–1101,5 кг/га сырого протеина. Качество корма, полученного во всех системах ведения на 74-й год использования травостоев, отвечало требованиям ГОСТа для сена первого и второго класса. Плодородие почвы под долголетним травостоем без перезалужения продолжает повышаться, увеличивается накопления гумуса.

Ключевые слова: долголетний сенокос; системы ведения; продуктивность; качество корма; почвенное плодородие.

Для создания устойчивой кормовой базы и обеспечения животноводства полноценными объемистыми кормами обязательным условием является интенсификация лугового кормопроизводства. Наиболее эффективный прием увеличения продуктивности травостоев, улучшения их видового состава и качества получаемого корма – применение минеральных и органических удобрений. Однако выбор системы ведения сенокосов определяется не только планируемой урожайностью, но и хозяйственно-экономическими возмож-

ностями хозяйства [1, 2]. Одна из главных задач луговодства – поддержание высокой продуктивности агрофитоценозов, длительное их использование без перезалужения, что позволяет снизить себестоимость корма, потребность в семенах трав и сельскохозяйственной технике [3–6]. Применение минеральных и органических удобрений также способствует увеличению содержания элементов питания в почве и повышению ее энергетического потенциала [7, 8].

Материалы и методы. Опыт по изучению влияния минеральных и органических удобрений на продуктивность сенокосных агрофитоценозов был заложен в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в 1946 году М.С. Афанасьевой и П.И. Ромашовым. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая (суходол временно избыточного увлажнения), перед закладкой опыта в слое 0–20 см содержалось 2,03 % гумуса, 50 мг/кг почвы подвижного фосфора, 70 мг/кг почвы обменного калия, $pH_{сол}$ – 4,3, перед залужением было проведено известкование (5,0 т/га извести). Посев проведен беспокровно, в состав сложной традиционной на тот момент семикомпонентной травосмеси входили клевер луговой (Trifolium pratense L., норма высева 3 кг/га), клевер ползучий (Trifolium repens L., 2 кг/га), тимофеевка луговая (Phleum pratense L., 4 кг/га), овсяница луговая (Festuca pratensis Huds., 10 кг/га), лисохвост луговой (Alopecurus pratensis L., 3 кг/га), кострец безостый (Bromus inermis Leyss., 3 кг/га), мятлик луговой (Poa pratensis L., 2 кг/га). Дозы фосфорных удобрений за годы проведения исследований в связи с высоким выносом питательных веществ повысили с P_{30} до P_{45-60}, калийных – с K_{30} до K_{90-120}, азотных – с N_{60} до N_{90-180}. Навоз вносился поверхностно один раз в четыре года, начиная с 1950 г. Использование травостоя двуукосное: первый укос – в фазу массового цветения доминирующего вида (лисохвост луговой), второй – в первой декаде сентября. Опыт включен в реестр географической сети, имеется аттестат РАСХН длительного опыта № 145 от 1 июня 2009 г.

Результаты исследований. За 74 года использования под влиянием внесения минеральных и органических удобрений исходный сенокосный фитоценоз переформировался в разные типы травостоев. В техногенной системе без внесения удобрений (контроль) на 74-й год использования травостоя основным злаковым компонентом является внедрившийся низовой вид – овсяница красная (64,4 %), доля бобовых составляет 21,4 %, разнотравья – 3,6 %. Внесение фосфорного и азотного удобрений в техногенно-минеральной экстенсивной системе способствовало увеличению участия овсяницы красной до 74,2–75,4 %. Внесение азотно-калийного и азотно-фосфорного удобрений приводит к увеличению участия лисохвоста лугового до 6,7–7,4 % (с 1,1 % в техногенной системе), фосфорно-калийного – до 22,1 %. Максимальное содержание лисохвоста лугового в техногенно-минеральной экстенсивной системе (48,7 %) сохраняется при внесении полного минерального удобрения с дозой азота N_{60}. Таким образом, в данной технологической системе формируются низовозлаково-бобово-разнотравный и низовозлаково-разнотравный травостои при внесении одно- и двухкомпонентных удобрений и травостой с преобладанием верховых злаков при внесении полного минерального удобрения. В техногенно-органической системе при внесении навоза в дозах 10–20 т/га один раз в четыре года содержание овсяницы красной составляло 62,3–70,0 %, бобовых видов – 18,9–29,6 %, в данной системе также формируется низовозлаково-бобово-разнотравный травостой. В техногенно-минеральной интенсивной системе при увеличении дозы азотных удобрений до $N_{90\text{-}120}$ участие лисохвоста лугового возрастает до 46,4–53,1 %, при внесении N_{180} доминантам является кострец безостый – 71,5 %. Общее содержание верховых злаков составляет 86,7–98,4 %, то есть формируется злаково-разнотравный сенокосный фитоценоз верхового типа. Совместное внесение минеральных удобрений и навоза в комбинированной системе позволяет сохранить содержание лисохвоста лугового на уровне 39,9–46,7 %, общее участие верховых злаков – 75,6–

79,0 %. Таким образом, поддерживать высокое участие верховых злаков в травостое позволяет только внесение полного минерального удобрения, в остальных случаях формируются травостои более подходящие для пастбищного использования.

Урожайность долголетнего сенокоса за последние семь лет пользования в техногенной системе составила 3,6 т/га сухого вещества (табл. 1).

1. Продуктивность долголетнего сенокоса (в среднем за 2014–2020 гг.)

Система ведения	Удобрение	Производство с 1 га			
		СВ, т	ОЭ, ГДж	кормовых единиц	сырого протеина, кг
Техногенная	Без удобрений	3,6	37,2	2927	423,5
Техногенно-минеральная экстенсивная	K_{90}	5,2	48,6	4798	567,2
	P_{45}	3,4	34,2	2689	296,0
	N_{120}	5,0	52,6	4206	718,9
	$P_{45}K_{90}$	5,8	56,5	4354	657,2
	$N_{120}K_{90}$	5,5	56,6	4418	706,9
	$N_{120}P_{45}$	5,2	51,9	4195	724,1
	$N_{60}P_{45}K_{90}$	6,2	60,3	4661	589,4
Техногенно-минеральная интенсивная	$N_{90}P_{45}K_{90}$	6,1	59,6	4578	712,4
	$N_{120}P_{45}K_{90}$	7,1	69,9	5406	860,8
	$N_{80+40}P_{45}K_{90}$	7,3	72,0	5720	819,4
	$N_{180}P_{45}K_{90}$	8,3	81,8	6297	1101,5
Техногенно-органическая	10 т/га навоза 1 раз в 4 года	4,2	42,1	3310	478,4
	20 т/га навоза 1 раз в 4 года	4,7	46,9	3694	536,1
Комбинированная	10 т/га навоза 1 раз в 4 года + $N_{90}P_{45}K_{90}$	6,9	67,1	5108	762,1
	20 т/га навоза 1 раз в 4 года + $N_{90}P_{45}K_{90}$	7,1	72,4	5222	841,1
$НСР_{05}$		8,6	–	–	–

В техногенно-минеральной экстенсивной системе она была в 1,4–1,7 раза выше, за исключением технологии с внесением P_{45}. При внесении полного минерального удобрения в техногенно-

минеральной интенсивной системе урожайность повышалась в 1,7–2,3 раза по сравнению с контролем. В техногенно-органической системе урожайность составляла 4,2–4,7 т/га сухого вещества, что в 1,2–1,3 раза выше контроля. В комбинированной системе она увеличивалась до 6,9–7,1 т/га – в 1,9–2,0 выше, чем в техногенной, и в 1,5–1,6 раза выше, чем в органической. Таким образом, внесение минеральных и органических удобрений и их сочетаний способствовало увеличению урожайности травостоев во всех системах ведения, лучший эффект достигался при внесении полного минерального удобрения.

Продуктивность фитоценоза в техногенной системе (контроль) составила 37,2 ГДж/га ОЭ, 2,9 тыс. корм. ед./га и 423,5 кг/га сырого протеина. В техногенно-минеральной экстенсивной системе сбор обменной энергии и кормовых единиц увеличивался в 1,3–1,6 раза, только при внесении P_{45} продуктивность травостоя снижается. В техногенно-минеральной интенсивной системе сбор обменной энергии и кормовых единиц возрастал в 1,6–2,2 раза по сравнению с контролем. Внесение 10 и 20 т/га навоза один раз в 4 года в органической системе увеличивает выход обменной энергии и кормовых единиц в 1,1–1,3 раза по сравнению с контролем. При совместном внесении органических и минеральных удобрений в комбинированной системе сбор обменной энергии и кормовых единиц увеличивается по сравнению с контролем в 1,7–1,9 раза, по сравнению с техногенно-органической системой – в 1,4–1,6 раза. Полученные данные свидетельствуют о высокой продуктивности долголетних сенокосных фитоценозов, что подтверждает их преимущество перед созданием краткосрочных травостоев с периодическим перезалужением.

По содержанию сырого протеина корм, полученный в техногенной системе, соответствовал требованиям ГОСТа для второго класса сена естественных угодий. При внесении в техногенно-минеральной экстенсивной системе N_{120} отдельно и в составе двухкомпонентного удобрения содержание сырого протеина повыша-

лось до 12,29–13,84 %, и качество корма соответствовало первому классу. При внесении K_{90}, P_{45}, $P_{45}K_{90}$ и снижении дозы азота до N_{60} в составе полного минерального удобрения был получен корм второго класса (11,27–11,90 % сырого протеина). В техногенно-минеральной интенсивной системе качество корма соответствовало второму классу для сена сеяных трав при внесении $N_{90–120}$, при увеличении дозы азота до N_{180} – первому классу (13,44 % сырого протеина). В техногенно-органической и комбинированной системах качество корма соответствовало второму классу для сена естественных и сеяных угодий соответственно. Содержание сырой клетчатки в сене во всех системах ведения соответствовало требованиям ГОСТа для первого класса. По содержание минеральных веществ корм во всех системах ведения соответствовал зоотехническим требованиям. Содержание обменной энергии (9,66–10,19 МДж) и кормовых единиц (0,75–0,83) в 1 кг сухого вещества свидетельствует о высокой питательности получаемых кормов. Таким образом, даже на 74-й год использования травостоев получаемое сено соответствует первому и второму классу качества, что позволяет снизить расход концентратов в стойловый период.

В исходном состоянии почва участка характеризовалась как сильнокислая, с низким содержанием подвижного фосфора и обменного калия (табл. 2). На 74-й год использования сенокоса кислотность почвы снизилась до средне- и слабокислой, поскольку четыре раза за весь период исследований проводили поддерживающие известкования. Содержание подвижного фосфора в почве при внесении данного элемента с удобрениями возросло в 1,9–3,6 раза. Содержание обменного калия снизилось во всех системах ведения, что связано с высоким выносом его с урожаем, только при внесении K_{90} отдельно и в составе фосфорно-калийного удобрения содержание его в почве возросло в 1,1–2,9 раза. Содержание гумуса повысилось с 2,03 до 2,86–3,81 %, запас гумуса в слое 0–20 см увеличился с 50,8 до 64,4–85,7 т/га, ежегодный его прирост в среднем за 74 года составил 184–473 кг/га.

2. Изменение плодородия почвы при 74-летнем использовании сенокоса (слой 0–20 см)

Система ведения	Удобрение	Агрохимические показатели				Содержание			
		pH	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/кг	гумус, %	P_2O_5, кг/га	K_2O, кг/га	N, кг/га	гумус, т/га
Исходное состояние (1946 г.)		4,3	50	70	2,03	125	175	3000	50,8
Техн.	Без удобрений	5,0	38	53	3,34	86	118	3060	75,2
Техн.-мин. экст.	K_{90}	5,0	31	203	3,39	70	456	3083	76,3
	P_{45}	4,9	180	71	3,06	406	159	3038	68,9
	N_{120}	4,8	26	52	2,86	58	118	3060	64,4
	$P_{45}K_{90}$	4,8	153	78	3,25	345	175	2948	73,1
	$N_{60}P_{45}K_{90}$	4,7	133	59	3,14	299	133	3060	70,7
Техн.-мин. инт.	$N_{90}P_{45}K_{90}$	4,9	115	52	3,1	258	116	3105	69,8
	$N_{120}P_{45}K_{90}$	5,0	108	53	3,3	242	120	3128	74,3
	$N_{180}P_{45}K_{90}$	4,8	93	53	3,22	209	120	3510	72,5
Техн.-орг.	20 т/га навоза 1 раз в 4 года	4,8	49	55	3,81	111	124	3195	85,7
Комб.	20 т/га навоза 1 раз в 4 года + $N_{90}P_{45}K_{90}$	5,2	176	61	3,72	396	137	3150	83,7

Заключение. На долголетнем сенокосе, использовавшемся без перезалужения в течение 74 лет, применение минеральных и органических удобрений увеличивает продуктивность травостоя, максимальная продуктивность достигается в техногенно-минеральной интенсивной системе ведения – до 8,3 т/га сухого вещества, 81,8 ГДж/га обменной энергии, 6,3 тыс. корм. ед./га и 1101,5 кг/га сырого протеина. Качество получаемого корма во всех системах ведения соответствует требованиям ГОСТа для сена первого и второго класса естественных и сеяных угодий в зависимости от типа сформировавшегося травостоя. При долголетнем использовании повышается плодородие почвы, содержание гумуса увеличивается с 2,03

до 2,86–3,81 %, ежегодный его прирост в слое почвы 0–20 см составляет 184–473 кг/га. Полученные данные демонстрируют преимущество создания долголетних травостоев, учитывая хозяйственные и средообразующие их функции.

Литература

1. Ромашов П.И., Ахламова Н.М. Эффективность длительного применения минеральных удобрений на сенокосах // Кормопроизводство : сборник научных работ. 1974. Выпуск 9. С. 100–114.

2. Тебердиев Д.М., Кулаков В.А., Родионова А.В. Луговые агрофитоценозы и качество корма // Животноводство России. 2010. № 9. С. 49–50.

3. Кирюшин В.И. Технологическая модернизация земледелия России: предпосылки и условия // Земледелие. 2015. № 6. С. 6–10.

4. Кутузова А.А., Тебердиев Д.М., Ковшова В.Н., Родионова А.В. Прогнозирование урожайности сенокосов и пастбищ в связи с глобальными изменениями климата // Кормопроизводство. 2011. № 7. С. 3–6.

5. Тебердиев Д.М., Родионова А.В. Эффективность удобрений на долголетнем сенокосе // Кормопроизводство. 2015. № 10. С. 3–7.

6. Привалова К.Н. Продуктивность разновозрастных пастбищных травостоев // Кормопроизводство. 1999. № 11. С. 12–14.

7. Тебердиев Д.М., Родионова А.В. Продуктивность и средообразующая роль долголетних агрофитоценозов // Адаптивное кормопроизводство. 2017. № 4. С. 43–50.

8. Привалова К.Н. Средообразующая роль разновозрастных пастбищных травостоев // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. 2014. Выпуск 1 (49). С. 81–87.

CHANGE IN PRODUCTIVITY OF HAYFIELDS WITH LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS

Teberdiev D.M., Rodionova A.V., Zapivalov S.A., Shannikova M.A.

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Forage Production and Agroecology named after V.R. Williams, Lobnya, Moscow Region, e-mail: vik_lugovod@bk.ru

Annotation. Over the past seven years of using long-term hay phytocenoses (2014–2020), higher productivity was obtained in the technogenic-mineral intensive system – 6.1–8.3 t ha^{-1} of dry matter, 59.6–81.8 GJ ha^{-1} of exchangeable energy, 4.6–6.3 thousand feed units ha^{-1}, 712.4–1101.5 kg ha^{-1} of crude protein. The quality of forage obtained in all management systems in the 74th year of using herbage met the requirements of the standard for hay of the first and second class. The fertility of the soil under the long-term herbage continues to increase without re-planting, and the accumulation of humus increases.

Keywords: long-term hayfield; management systems; productivity; feed quality; soil fertility.

УДК 631.58:631.81(571.63)

РЕЗУЛЬТАТЫ СВЕРХДЛИТЕЛЬНОГО СТАЦИОНАРНОГО ОПЫТА С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ УДОБРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Р.В. Тимошинов, Е.Ж. Кушаева, А.А. Дубков,
Л.Е. Марчук, А.Г. Клыков,
****Я.О. Тимофеева***

ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», г. Уссурийск
*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, г. Владивосток

Аннотация. В статье представлены результаты сверхдлительного агрохимического стационарного опыта за 1941-2021 гг. Показано, что систематическое совместное внесение навоза, извести и минеральных удобрений в течение 80 лет увеличивает содержание подвижного фосфора и калия в почве, а прекращение применения удобрений приводит к резкому снижению обменного калия. Установлено, что введение в севооборот сидерального пара и многолетних трав позволяет стабильно поддерживать содержание гумуса на протяжении всех ротаций, а внесение извести, как отдельно, так и с навозом и минеральными удобрениями, снижает кислотность почвы.

Ключевые слова: системы удобрения; севооборот; фосфор; калий; гумус; навоз; известь.

Введение

Дальневосточный федеральный округ занимает огромную территорию между Сибирью на западе, Тихим океаном – на востоке, ледовитым океаном – на севере, Китаем и Кореей – на юге [1]. Основная площадь пашни сосредоточена в Амурской области 1315,0 тыс. га, в Приморском крае 744,3 тыс. га, в Республике Бурятия 690,7 тыс. га и в Забайкальском крае 494,7 тыс. га, на оставшуюся

территорию приходится 447,9 тыс. га. В настоящее время в аграрном секторе Дальнего Востока наблюдается увеличение производства сои и кукурузы [2]. В Приморском крае в последнее время начали работать крупные агрохолдинги, которые обновили парк машин, увеличили уровень использования минеральных удобрений. Однако у сельскохозяйственных производителей края из-за отсутствия зональной агрохимической службы возникают трудности по определению плодородия почвы. Поэтому часть функций по обследованию почвы осуществляют ФГБУ «Россельхозцентр» по Приморскому краю и ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», при этом полномасштабного обследования почв не проводится уже около 20 лет. В связи с этим отсутствует мониторинг изменения показателей плодородия почв сельскохозяйственного использования, что не позволяет оценивать эффективность применяемых удобрений, а также в полной мере не решаются экономические, экологические и географические вопросы по действию удобрений. В «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» с 1941 года по настоящее время функционирует сверхдлительный стационарный опыт по изучению различных систем удобрений, созданный с целью определить динамику изменения агрохимических показателей почв и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в севообороте.

Методика и почвенно-климатические условия региона исследований

Климат Приморского края относится к муссонному типу, теплый период (среднесуточная температура выше 5 ^{0}С) наступает с третей декады марта и заканчивается во второй декаде ноября. Весна и осень характеризуются как переходные сезоны, в которые подготавливается смена сезонов. Как правило, в это время устанавливается засушливая погода, она благоприятна для хода весенне-полевых и осенне-уборочных работ. Заморозки на поверхности почвы в основных земледельческих районах края прекращаются весной 13-17 мая, а начинаются 20-29 сентября, продолжительность безморозного пе-

риода составляет 125-138 дней. В августе и первой половине сентября в край заходят тайфуны, сопровождаемые сильными дождями. Выпадающие обильные осадки приводят к сильному переувлажнению почвы, так как небольшой пахотный слой и наличие водонепроницаемого подзолистого горизонта не позволяет аккумулировать весь объем выпадающих осадков. В последнее время в крае наблюдаются значительные изменения климата. Интенсивность осадков в этот период увеличилась, при этом в текущем году в этот период, впервые за долгие годы, наблюдалась засуха.

Исследования проведены на сверхдлительном стационарном агрохимическом опыте (поле №1), основанном в 1941 году на базе девятипольного севооборота на опытных полях отдела земледелия и агрохимии ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Перед закладкой стационарного опыта в пахотном горизонте почвы (0-20 см) содержалось 148 мг/кг почвы обменного калия, 17,0 мг/кг почвы подвижного фосфора, 6,08 % гумуса, pH_{KCl} – 5,2. Первая ротация севооборота на поле №1 началась в 1941 г. В 2021 г. началась десятая ротация. Периоды прохождения раций следующие: I (1941-1949 гг.), II (1950-1958 гг.), III (1959-1966 гг.), IV (1967-1975 гг.), V (1976-1984 гг.), VI (1985-1993 гг.), VII (1994-2002 гг.), VIII (2003-2011 гг.), IX (2012-2020 гг.), X (2021-2029 гг.). Для изучения различных систем удобрения в схему полевого опыта были включены следующие варианты:

1. Контроль; 2. Навоз; 3. Навоз + Известь; 4. Навоз + Известь + 1NPK; 5. Навоз + Известь + 2NPK; 6. 2NPK; 7. 1NPK; 8. Известь + 1NPK; 9. Известь. Навоз и известь вносили в занятом пару (т/га) в начале каждой ротации севооборота, минеральные удобрения (кг д.в.) – ежегодно. С восьмой ротации севооборота навоз, известь и минеральные удобрения не вносятся. Суммарное внесение удобрений за период наблюдений отражено в таблице 1.

1. Суммарное количество внесенных удобрений за 1941-2021 гг.

№ п/п	Вариант	Внесено за период наблюдений				
		навоз, т	известь, т	N, кг д.в.	P, кг д.в.	K, кг д.в.
1	Контроль (без удобрений)	-	-	-	-	-
2	Органическая система	240	-	-	-	-
3	Органо-известковая система	400	24,6	-	-	-
4	Органо-известково-минеральная система с одинарной дозой NPK	240	24,6	1336	2060	1215
5	Органо-известково-минеральная система с двойной дозой NPK	240	24,6	2676	3880	2430
6	Минеральная система с двойной дозой NPK	-	-	2676	3190	2430
7	Минеральная система с одинарной дозой NPK	-	-	1193	1880	1110
8	Известково-минеральная система с одинарной дозой NPK	-	24,6	1338	2060	1175
9	Известковая система	-	24,6	-	-	-

Навоз вносился с первой по седьмую ротации. В восьмую ротацию севооборота применение навоза было исключено и введено дополнительно поле бобовых многолетних трав (клевера красного). В результате поступление органического вещества стало осуществляться за счет запашки зеленой массы клевера на сидерат (одно поле) и пожнивных остатков клевера (второе поле), а в севообороте установлено следующее чередование культур:

1. Клевер 1 года пользования;
2. Соя;
3. Пшеница;
4. Соя;
5. Пшеница с подсевом клевера;
6. Клевер 1 года пользования;
7. Пшеница;
8. Соя;
9. Пшеница с подсевом клевера.

С восьмой ротации севооборота минеральные и органические удобрения не вносятся.

Общая площадь делянок – 250 м^2, учетная – 150 м^2, повторность – трехкратная.

В почвенных пробах определяли следующие показатели: органическое вещество (гумус) – по Тюрину; pH_{KCl} – по ГОСТ 26483-85; подвижный фосфор (P_2O_5) и обменный калий (K_2O) – по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011). Для морфологического описания почвы в агрохимическом стационарном опыте в августе 2021 г. на межполевом участке (залежь около 85 лет, ведется покос трав) совместно с сотрудниками Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН был сделан почвенный разрез (табл. 2).

2. Морфологическое описание разреза

Горизонт	Глубина, см	Описание
*	0-4	Уплотненная, сухая дернина, состоящая из слабо- и среднеразложившихся остатков травянистых растений, густо пронизана корнями растений.
PU	4-11	Серого с буроватым оттенком цвета, однородной окраски, мелкоореховатой структуры, среднесуглинистый, уплотнен, обильно пронизан корнями травянистых растений, сухой, переход постепенный, граница затёчная.
PU-ELnn	11-35	Буровато-серый с многочисленными мелкими примазками охристого цвета, содержит плотные и мягкие мелкие бурые Fe-Mn конкреции, призматическо-ореховатой структуры, среднесуглинистый, уплотнен, пронизан многочисленными мелкими корнями травянистых растений, свежий, переход ясный, граница волнистая.
ELnn	35-55	Белесый, неоднородной окраски, с отдельными мелкими контрастными пятнами бурого и охристого цветов, содержит плотные крупные и мелкие Fe-Mn конкреции бурого и темно-бурого цвета, отмечаются единичные примазки охристого цвета, призматической структуры со слабо выраженной слоистостью, тяжелосуглинистый, твердый, свежий, переход постепенный, граница затёчная.

Продолжение таблицы 2

Горизонт	Глубина, см	Описание
BTnn	55-111	Темно бурый, с многочисленными мелкими размытыми пятнами охристого цвета, отмечаются многочисленные мелкие примазки охристого цвета, содержит плотные и мягкие Fe-Mn конкреции среднего и мелкого размера, призматической структуры, глинистый, твердый, свежий, переход постепенный, граница волнистая.
BT	111-153	Бурого с сероватым оттенком цвета, неоднородной окраски, с многочисленными крупными размытыми пятнами охристого цвета, отмечаются единичные мелкие примазки темно бурого цвета, содержит единичные мягкие Fe-Mn конкреции, мелкопризматической структуры, глинистый, плотный, свежий, переход постепенный, граница волнистая.
C	153-192 см и ниже	Белесовато-охристого цвета, бесструктурная, плотная, влажная глина.
Почва		Классификация почв России (Шишов, Тонконогов и др., 2004) [3] Ствол – постлитогенные Отдел – текстурно-дифференцированные Тип – агротемногумусовый подбел Подтип – типичный Классификация и диагностика почв СССР (1977) [4] Тип – луговые подбелы Классификация почв Приморского края (Иванов, 1976) [5] Тип – лугово-бурые Подтип – отбеленные пахотные

*Примечание.**По классификации 2004 года не имеет самостоятельного индекса, его присоединяют к горизонту PU и делают пометку о наличии дерниины в верней части горизонта.

Координаты участка: 43.859047 СШ; 131.943925 ВД, 21 м над уровнем моря. Рельеф местности: равнинный участок рельефа, долина реки Раковки, речная депрессия. Растительная ассоциация: обильная травянистая растительность представлена преимущественно пыреем ползучим (*Blytrígia répens* L.), а также полынью обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.), одуванчиком монгольским (*Taraxagum mongolicum* L.), проективное покрытие 1,0.

Результаты исследований

Применение удобрений является важнейшим фактором, определяющим агрохимическое состояние показателей почвенного плодородия. Фосфор является одним из основных элементов питания для растений и поступает исключительно из почвы. Особенность основных типов почв Приморского края состоит в том, что при относительно высоком содержании в них валовой фосфорной кислоты (0,08-0,20 %) запасы её в подвижной легкодоступной для растений форме очень низкие, поэтому ощущается постоянный дефицит в фосфоре. Проблема фосфатного питания растений в условиях края должна решаться как путем мобилизации природных запасов фосфора из прочно связанных соединений фосфатов, так и путем внесения минеральных фосфорных удобрений [6]. Анализ динамики изменения содержания подвижного фосфора показал, что наибольшее его накопление произошло в варианте опыта 4 и 5 с комплексной системой применения удобрений (табл. 3). В данных вариантах опыта к девятой ротации севооборота отмечено самое высокое содержание фосфора (271,0 и 336,5 мг/кг). При этом почва перешла из группировки с низким его содержанием в очень высокое. Положительные изменения в фосфатном режиме почвы наблюдаются и под действием минеральной системы удобрений. Следует отметить, что после прекращение внесения удобрений в почву с восьмой ротации севооборота, не выявлено уменьшения содержания подвижного фосфора в почве. Применение исключительно навоза и извести обеспечило постепенное накопление и наименьшую прибавку его содержания в почве. Установлено, что исключение минеральных и органических удобрений в контрольном варианте не способствует накоплению подвижных фосфатов.

3. Динамика изменения содержания P_2O_5 в почве, мг/кг

№ п/п	Вариант	Ротация севооборота								
		I (1941-1949 гг.)	II(1950-1958 гг.)	III (1959-1966 гг.)	IV (1967-1975 гг.)	V (1976-1984 гг.)	VI (1985-1993 гг.)	VII (1994-2002 гг.)	VIII (2003-2011 гг.)	IX (2012-2020 гг.)
1	Контроль (без удобрений)	12.5	21.0	11.7	12.8	22.9	12.0	13.0	15.0	27.0
2	$Н_{40}$	25.0	29.9	29.6	17.2	22.9	13.0	39.0	26.0	53.0
3	$Н_{80}$+$И_{4.5}$	-	55.1	30.1	32.9	40.5	42.0	101.0	124.0	149.0
4	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	-	-	-	31.8	39.4	87.0	190.0	261.0	271.0
5	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_2P_2K_2$	-	-	32.5	-	-	117.0	242.0	302.0	336.5
6	$N_2P_2K_2$	-	-	-	-	-	141.0	170.0	99.0	238.0
7	$N_1P_1K_1$	-	41.0	-	-	38,3	48.0	51.0	101.0	112.0
8	$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	-	-	-	-	-	33.0	75.0	132.0	141.5
9	$И_{4.5}$	-	13.0	-	-	-	12.0	30.0	34.0	55.5

Калий наряду с азотом и фосфором является важнейшим элементом питания растений. Он ускоряет процесс фотосинтеза, снижает поражаемость заболеваниями, повышает засухоустойчивость и морозостойкость растений [7]. Анализ изменений, произошедших в почве за период исследований, показал, что использование различных систем удобрений оказало весьма глубокое влияние на содержание обменного калия в почве (табл. 4). Систематическое применение навоза, минеральных удобрений и извести как в комплексе, так и раздельно обеспечивали повышение содержания калия, при этом в девятой ротации севооборота после прекращения применения удобрений наблюдается его резкое снижение по всем вариантам опыта.

4. Динамика содержания K_2O в почве, мг/кг

№ п/п	Вариант	Ротация севооборота								
		I (1941-1949 гг.)	II (1950-1958 гг.)	III (1959-1966 гг.)	IV (1967-1975 гг.)	V (1976-1984 гг.)	VI (1985-1993 гг.)	VII (1994-2002 гг.)	VIII (2003-2011 гг.)	IX (2012-2020 гг.)
1	Контроль (без удобрений)	-	-	14.0	141.6	169.0	109.0	144.0	180.5	115.0
2	$Н_{40}$	-	-	74.9	156.0	161.0	114.0	203.0	212.0	93.0
3	$Н_{80}$+$И_{4.5}$	-	-	90.7	171.7	184.0	112.0	210.0	175.5	110.0
4	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	-	-	46.9	148.7	183.0	105.0	254.0	227.5	110.0
5	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_2P_2K_2$	-	-	-	-	202.0	150.0	280.0	274.0	110.0
6	$N_2P_2K_2$	-	-	-	-	216.0	160.0	185.0	277.5	115.0
7	$N_1P_1K_1$	-	-	59.5	138.8	156.0	80.0	142.0	158.0	75.0
8	$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	-	-	-	-	144.0	70.0	145.0	135.5	85.0
9	$И_{4.5}$	-	-	-	-	131.0	51.0	136.0	121.5	110.0

Содержание в почве органического вещества является показателем плодородия и окультуренности почвы. В нем сосредоточен основной запас питательных веществ, в том числе более 98% азота, 60% фосфора и т.д. При полном обеспечении растений минеральным азотом урожай культур на 40-60% формируется за счет почвенного азота, поступающего преимущественно из гумуса [8]. С увеличением в почве запасов гумуса повышается урожайность от применения минеральных удобрений.

Выявлено, что применение в севообороте сидерального пара и многолетних трав позволяет поддерживать достаточно стабильное содержание гумуса на протяжении всех ротаций севооборота (табл. 5). Применение навоза, извести и минеральных удобрение способствует поддержанию запасов гумуса. По нашему мнению снижение содержания гумуса в девятой ротации севооборота объясняется изменениями климатических условий края, поэтому изучение данного вопроса является очень актуальным.

5.Динамика содержания гумуса в почве, %

№ п/п	Вариант	Ротация								
		I (1941-1949 гг.)	II (1950-1958 гг.)	III (1959-1966 гг.)	IV (1967-1975 гг.)	V (1976-1984 гг.)	VI (1985-1993 гг.)	VII (1994-2002 гг.)	VIII (2003-2011 гг.)	IX (2012-2020 гг.)
1	Контроль (без удобрений)	5.31	5.51	4.77	5.33	4.52	4.33	3.97	4.26	2.94
2	$Н_{40}$	5.75	-	5.20	5.64	4.76	4.63	4.18	4.23	3.22
3	$Н_{80}$+$И_{4.5}$	5.83	6.54	5.41	5.38	4.68	4.72	4.29	4.54	3.42
4	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	-	-	-	5.47	4.55	4.41	4.23	4.48	2.77
5	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_2P_2K_2$	-	-	-	-	4.57	4.37	4.18	4.17	3.25
6	$N_2P_2K_2$	5.34	-	-	-	4.50	4.30	3.73	4.26	3.16
7	$N_1P_1K_1$	-	-	-	5.06	4.25	4.24	3.65	3.91	2.67
8	$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	6.24	-	-	-	4.07	4.14	3.87	3.96	2.83
9	$И_{4.5}$	-	-	-	4.81	3.98	4.17	3.64	3.97	2.75

6. Динамика изменения $pH_{сол}$ в почве

№ п/п	Вариант	Ротация								
		I (1941-1949 гг.)	II (1950-1958 гг.)	III (1959-1966 гг.)	IV (1967-1975 гг.)	V (1976-1984 гг.)	VI (1985-1993 гг.)	VII (1994-2002 гг.)	VIII (2003-2011 гг.)	IX (2012-2020 гг.)
1	Контроль (без удобрений)	5.0	-	5.1	4.5	4.2	4.6	4.6	4.5	4.8
2	$Н_{40}$	5.2	-	5.2	4.8	4.4	4.9	5.0	5.0	5.2
3	$Н_{80}$+$И_{4.5}$	6.5	-	6.1	4.7	5.7	6.3	6.3	6.3	5.8
4	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	5.2	-	6.0	6.0	5.6	6.6	6.7	6.2	6.1
5	$Н_{40}$+$И_{4.5}$+$N_2P_2K_2$	-	-	-	-	5.5	6.5	5.8	5.9	5.9
6	$N_2P_2K_2$	5.2	-	-	-	4.9	5.3	4.8	4.8	5.1
7	$N_1P_1K_1$	5.0	-	-	5.3	4.8	5.1	4.9	4.8	4.9
8	$И_{4.5}$+$N_1P_1K_1$	5.6	-	-	-	5.9	6.0	5.8	5.7	5.7
9	$И_{4.5}$	5.0	-	-	6.0	5.8	6.2	5.8	5.6	5.5

Реакция почвенной среды оказывает большое влияние на развитие растений, почвенных микроорганизмов, на образование и распад органических соединений и другие почвенные процессы. От нее зависит эффективность вносимых в почву удобрений, которые, в свою очередь способны подкислять почву. Анализ данных изменения кислотности почвы по ротациям севооборота показывает, что наименьшие значения $pH_{сол}$ отмечено в контрольном варианте опыта, а внесение минеральных удобрений не привело к значительному увеличению почвенной кислотности (табл. 6). Установлено, что применение извести способствует снижению кислотности при применении как отдельно, так и с навозом и минеральными удобрениями.

Заключение

Агрохимический стационар является экспериментальной площадкой для получения фундаментальных и прикладных исследований, которые широко применяются в системе земледелия Приморского края. Длительное применение различных систем удобрений привело к созданию участков с различным уровнем почвенного плодородия. Систематическое применение совместного внесения навоза извести и минеральных удобрений в течение 80 лет увеличило содержание подвижного фосфора и калия в почве. Следует отметить, что после прекращения применения удобрений наблюдается резкое снижение калия. Введение в севооборот сидерального пара и многолетних трав позволяет поддерживать достаточно стабильное содержание гумуса на протяжении всех ротаций. Применение минеральных удобрений не привело к значительному увеличению почвенной кислотности, а внесение извести, как отдельно, так и с навозом и минеральными удобрениями, снижает кислотность почвы.

Литература

1. Блохин В.Д., Моисеенко А.А., Ступин В.М. Научные основы земледелия на Дальнем Востоке России. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 216с.

2. Клыков А.Г., Ким И.В. Современное состояние и пути развития инновационного развития аграрной науки на Дальнем Востоке // Аграрный вестник Приморья. – 2017. – № 3 (7). – С. 5-14.

3. Классификация и диагностика почв России. / Л.Л, Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 343 с.

4. Классификация и диагностика почв СССР. /В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова и др. – М.: Колос, 1977. – 223 с.

5. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. – М.: Наука, 1976.–200 с.

6. Грицун А.Т. Применение удобрений в Приморском крае. – Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1964, – 439 с.

7. Агрохимия / под ред. В.М. Клечковского, А.В. Петербургского. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Колос, 1967. – 583 с.

8. Лыков А.М. Гумус и плодородие почвы. – М.: Моск. рабочий, 1985. – 191 с.

RESULTS OF AN ABOVE LONG-TERM STATIONARY EXPERIMENT WITH VARIOUS FERTILIZATION SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF PRIMORSKY KRAI

Timoshinov R.V., Kushaeva E.Zh., Dubkov A.A., Marchuk L.E., Klykov A.G.

**** Timofeeva Ya.O.***

FSBSI “FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki”, Ussuriysk

* Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, the Far Eastern Branch of RAS, Vladivostok

Annotation. The article presents the results of an above long-term stationary experiment in 1941-2021. The systematic combined application of manure, lime and mineral fertilizers for 80 years increases the content of mobile phosphorus and potassium in soil, and the cessation of fertilizer usage leads to a rapid decrease in the exchange of potassium. The incorporation of green manure cover crops and perennial grasses in the crop rotation system allows to maintain a stable level of the humus content throughout all rotations. The lime application, both separately and with manure and mineral fertilizers, reduces the soil acidity.

Keywords: fertilization systems; crop rotation; phosphorus; potassium; humus; manure; lime.

УДК 631.8:631.5:632:633.1:633.63

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР В ЗЕРНОПАРОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ

С.И. Тютюнов, П.И. Солнцев, Ю.В. Хорошилова, М.В. Емец, Ж.Ю. Горохова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Белгородский федеральный аграрный научный центр
Российской академии наук» Россия, г. Белгород
E-mail: laboratoria.zashiti@yandex.ru

Аннотация. Показано влияние интенсификации элементов технологии возделывания на продуктивность культур севооборота. Дана оценка приемам интенсификации агротехнологий на основе комплексного применения удобрений и средств защиты растений.

Ключевые слова: удобрения, уровни защиты растений, урожайность, комплексное применение, культуры севооборота.

Многолетний опыт земледелия свидетельствует о том, что стабильное получение качественного урожая возделываемых культур возможно лишь при условии комплексного учета всех факторов, участвующих в его формировании. Важнейшей задачей при этом является снижение энергетических затрат и повышение окупаемости удобрений [4, 6].

В связи с этим все большую актуальность приобретают научные исследования по изучению закономерностей поведения удобрений, средств защиты растений при комплексном применении в агротехнологиях различной степени интенсификации и оценке их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур [1, 3, 5].

Исследования, направленные на снижение затрат энергетических средств, повышение окупаемости удобрений, рациональное использование средств защиты растений, проводились в 2017-2019 гг. в стационарном полевом опыте лаборатории защиты растений ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН».

Цель исследований заключалась в оценке влияния интенсификации элементов технологии возделывания на урожайность культур севооборота.

Почва опытного участка – чернозем типичный тяжелосуглинистый слабосмытый малогумусный (содержание гумуса 4,5-5,0 %), pH солевой вытяжки 5,8-6,0, с содержанием подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) соответственно, 55-60 и 105-125 мг/кг почвы.

Исследования проводились в севообороте:

1) черный пар; 2) озимая пшеница; 3) сахарная свекла; 4) ячмень; 5) кукуруза на зерно.

Основная обработка почвы – вспашка: на глубину 20-22 см – под озимую пшеницу и ячмень, 25-27 см – под кукурузу и 30-32 см – под сахарную свеклу.

Системы удобрений

Изучали эффективность навоза, который вносился в дозе 40 т/га после уборки кукурузы на зерно, под озимую пшеницу. Остальные культуры севооборота использовали его последействие (в расчете – 8 т/га севооборотной площади). Наряду с этим, изучали действие минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ под озимую пшеницу и ячмень; $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ под кукурузу на зерно; $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{180}P_{180}K_{180}$ под сахарную свеклу. Действие перечисленных доз минеральных удобрений изучали, как совместно с последействием навоза, так и в чистом виде (табл. 1).

1. Системы удобрений под культуры севооборота

Вариант опыта	Культуры				В среднем за севооборот
	черный пар + озимая пшеница	сахарная свекла	ячмень	кукуруза на зерно	
1. Контроль	-	-	-	-	-
2. Навоз	40 т/га	1-год последействия навоза	2-год последействия навоза	3-год последействия навоза	8т/га
3. Навоз + $N_1P_1K_1$	40 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	1-год последействия навоза + $N_{120}P_{120}K_{120}$	2-год последействия навоза + $N_{60}P_{60}K_{60}$	3-год последействия навоза + $N_{60}P_{60}K_{60}$	8т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$
4. Навоз + $N_2P_2K_2$	40 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$	1-год последействия навоза + $N_{180}P_{180}K_{180}$	2-год последействия навоза + $N_{90}P_{90}K_{90}$	3-год последействия навоза + $N_{120}P_{120}K_{120}$	8т/га + $N_{96}P_{96}K_{96}$
5. $N_1P_1K_1$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
6. $N_2P_2K_2$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{180}P_{180}K_{180}$	последействие $N_{180}P_{180}K_{180}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$	$N_{78}P_{78}K_{78}$

Системы защиты растений

Озимая пшеница и ячмень

1. Протравливание семян (Доспех 3, КС – 0,5 л/т + Табу, ВСК – 0,5 л/т семян).

2. То же, что 1 + гербицид (кущение) Астэрикс, СЭ – 0,6 л/га + фунгицид (трубкование) Алькор Супер, КЭ – 0,50 л/га.

3. То же, что и 2 + инсектицид Клонрин, КЭ – 0,20 л/га + Новосил, ВЭ – 0,03 л/га.

Сахарная свекла

1. Протравливание семян (Круйзер, КС + ТМТД, ВСК + Тачигарен, СП) + почвенный гербицид Дифилайн, КЭ – 1,5 л/га.

2. То же, что и 1 вариант + гербициды по вегетации (Флуорон, ВДГ – 0,03 кг/га + Галактик Супер, КЭ – 1 л/га) по первой волне сорняков + Ди-68, КЭ – 0,8 л/га.

3. То же, что 2 вариант + гербициды по вегетации (Флуорон, ВДГ – 0,03 кг/га + Галактик Супер, КЭ – 1 л/га + Бис-300, ВР – 0,3 л/га) по второй волне сорняков + Фалькон, КЭ – 0,6 л/га + Новосил, ВЭ – 0,03 л/га.

Кукуруза на зерно

1. Протравливание семян (Максим XL, КС – 1 л/т).

2. То же, что и 1 вариант + почвенный гербицид Дифилайн, КЭ – 1,5 л/га.

3. То же, что 2 вариант + гербициды по вегетации (Приоритет, КС – 1,0 л/га + Дианат, ВР – 0,6 л/га) + инсектицид Каратэ Зеон, МКС – 0,3 л/га + Новосил, ВЭ – 0,03 л/га.

В стационарном опыте повторность трехкратная. Размер делянок, где изучались средства защиты составлял 100 м^2, удобрения – 300 м^2 и обработка почвы – 1800 м^2 .

В опыте высевали сорта озимой пшеницы: Богданка, Синтетик; гибрид сахарной свеклы – Каскад; сорт ячменя – Хаджибей; гибриды кукурузы на зерно: Белкорн 250 МВ, Эффектный СВ.

Методической основой выполняемых исследований являлся полевой факториальный эксперимент [2].

Согласно общепринятым методикам проводили запланированные наблюдения и учеты.

Агротехника опыта – общепринятая в зоне и области. Учет урожая осуществлялся методом сплошной уборки учетной площади.

Результаты и обсуждение

Метеорологические условия в годы проведения исследований

Температура воздуха в течение вегетационного периода 2017 года была ниже среднемноголетней только в мае – на 0,9 ℃. В остальные месяцы среднемесячная температура воздуха была выше

среднемноголетних значений: в апреле – на 0,6 ℃; в июне – на 0,7 ℃; в июле – на 3,1 ℃; в августе – на 6,0 ℃; в сентябре – на 4,9 ℃ (рис. 1). На этом фоне отмечался дефицит влаги. Так, в апреле выпало 61,0 %, в мае – 68,5 %, в июне – 34,9 %, в июле – 77,8 %, в августе – 44,6 %, в сентябре – 21,3 % осадков от среднемноголетнего количества (рис. 2).

Рис. 1. Среднемесячные температуры воздуха в периоды вегетации культур севооборота, °С

Вегетационный период 2018 года также характеризовался повышенной температурой воздуха, значения которой были выше нормы: на 3,5 °С – в апреле; на 5,8 °С – в мае; на 2,6 °С – в июне; на 3,3 °С – в июле; на 5,3 °С – в августе; на 5,2 °С – в сентябре (рис. 1). Осадков выпало: в апреле – 120,5 % от среднемноголетнего количества, мае – 94,5 %, в июне – 71,4 %, в июле – 359,0 %, в августе – осадков не отмечалось, в сентябре – 65,0 % осадков от среднемноголетнего количества (рис. 2).

В 2019 году температура воздуха была выше среднемноголетней в апреле – на 3,8 °С; в мае – на 3,2 °С; в июне – на 6,6 °С; в июле – на 1,2 °С; в августе – на 2,6 °С; в сентябре – на 3,3 °С (рис. 1).

Осадки выпадали неравномерно: в апреле выпало 112,0 %, в мае –113,6 %, в июне – 19,8 %, в июле – 97,8 %, в августе – 4,6 %, в сентябре – 75,3 % осадков от среднемноголетнего количества (рис. 2).

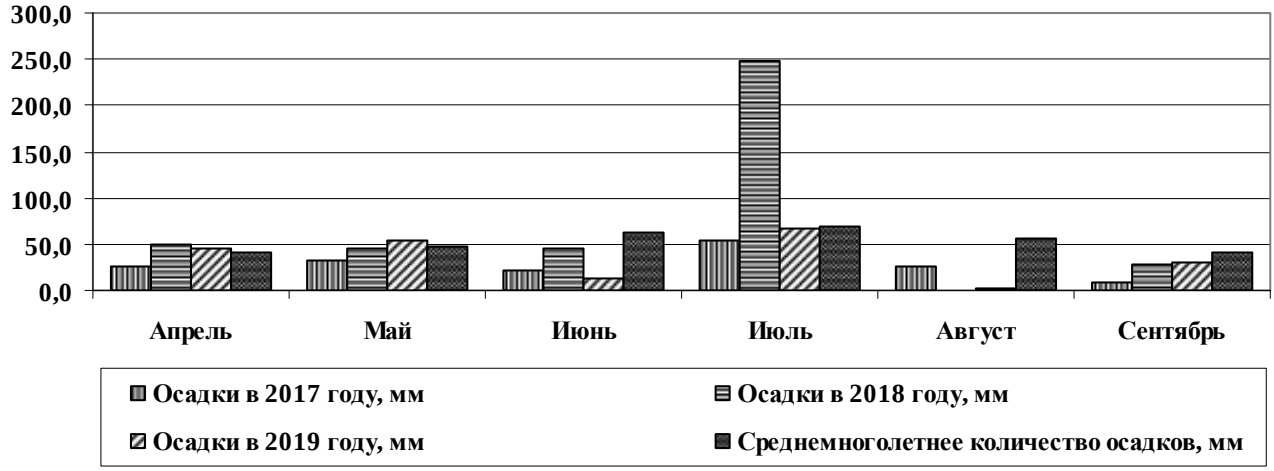

Рис. 2. Суммы осадков по месяцам в периоды вегетации культур севооборота, мм

Значения гидротермического коэффициента различались по годам исследований и составляли: 0,7 – в 2017 и 2019 гг. и 1,7 – в 2018 г., при среднемноголетнем значении 1,0.

Урожайность озимой пшеницы в контрольном варианте (без удобрений) при первом уровне защиты растений, в среднем за годы исследований, составила 2,6 т/га (рис. 3).

В варианте с внесением 40 т/га навоза урожайность увеличивалась на 1,3 т/га.

Внесение минеральных удобрений также способствовало росту урожайности. Наибольшая ее величина (5,2 т/га) получена в варианте с внесением $N_{90}P_{90}K_{90}$ совместно с действием навоза. Применение средств защиты растений увеличивало этот показатель до 5,9-6,1 т/га.

В варианте с использованием $N_{60}P_{60}K_{60}$ совместно с действием навоза при первом уровне защиты растений получено 4,7 т/га зерна. При применении второго и третьего уровней защиты растений урожайность возрастала, соответственно на 0,8 т/га и на 1,0 т/га.

Внесение одних минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ при применении первого уровня защиты растений обеспечивало урожайность 4,4 и 4,9 т/га, соответственно. Применение второго и третьего уровней защиты растений увеличивало урожайность в этих вариантах, соответственно на 0,8-1,0 т/га и на 0,7-1,0 т/га.

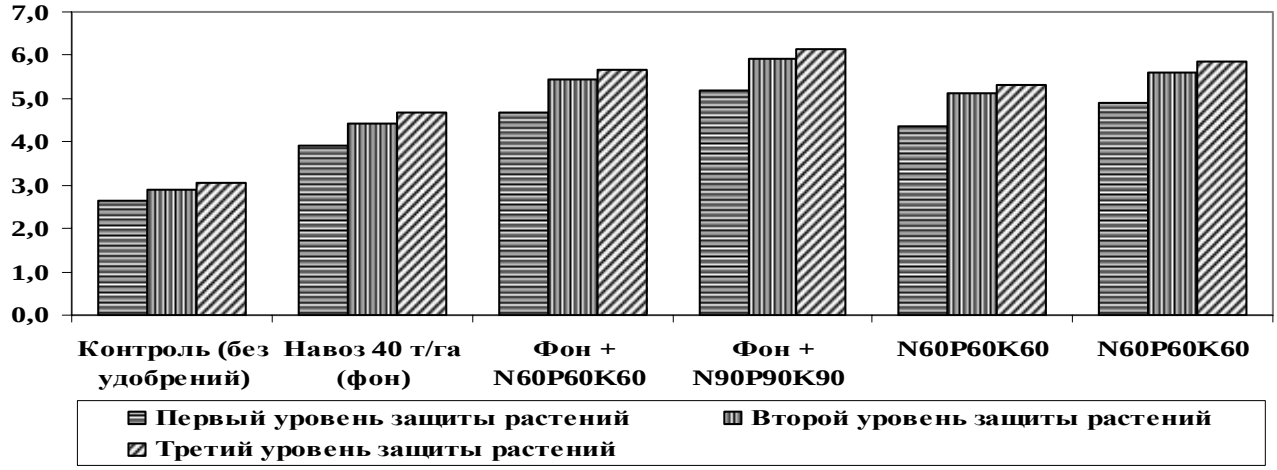

Рис. 3. Урожайность озимой пшеницы, в зависимости от применяемых систем удобрений и защиты растений, 2017-2019 гг., т/га ($НСР_{05}$ = 0,3т/га)

В среднем за 2017-2019 гг. наилучшие результаты по урожайности озимой пшеницы были получены при комплексном применении удобрений и средств защиты растений. Прибавка от их совместного применения достигала 3,5 т/га или 132,6 %.

Наибольшая окупаемость 1 кг NPK получена при комплексном применении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ совместно со средствами защиты растений (третий уровень) и составила 14,9 кг.

Урожайность сахарной свеклы в контрольном варианте, при первом уровне защиты растений составляла 11,0 т/га корнеплодов (рис. 4).

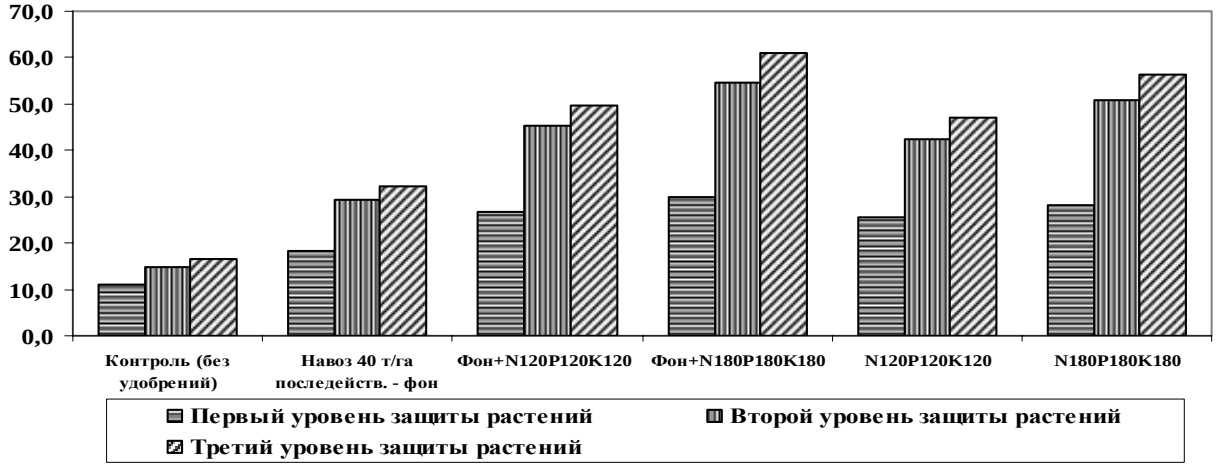

Рис. 4. Урожайность сахарной свеклы, в зависимости от применяемых систем удобрений и защиты растений, 2017-2019 гг., т/га ($НСР_{05}$ =3,0 т/га)

Применение второго и третьего уровней защиты растений обеспечивало рост урожайности корнеплодов до 14,8 т/га и 16,6 т/га, соответственно.

Внесение навоза под предшествующую культуру в расчете 40 т/га повышало урожайность до 18,4 т/га (прибавка по отношению к контрольному варианту составила 7,4 т/га, или 67,1 %). Средства защиты растений дополнительно увеличивали урожайность на 60,2 % и 76,3 %, соответственно, при втором и третьем уровнях защиты растений.

Наибольшая урожайность сахарной свеклы получена в варианте с комплексным применением минеральных удобрений в дозе $N_{180}P_{180}K_{180}$ совместно с последействием 40 т/га навоза, внесенного под предшествующую культуру и средствами защиты растений (третий уровень) и составила 61,1 т/га корнеплодов. Прибавка относительно контрольного варианта составила 50,1 т/га или 456,2 %.

Наибольшая окупаемость 1 кг NPK прибавкой урожая получена в варианте с применением минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ и составила 40,1-99,8 кг корнеплодов.

В среднем за годы исследований в контрольном варианте без внесения удобрений было получено 1,6 т/га зерна ячменя (рис. 5).

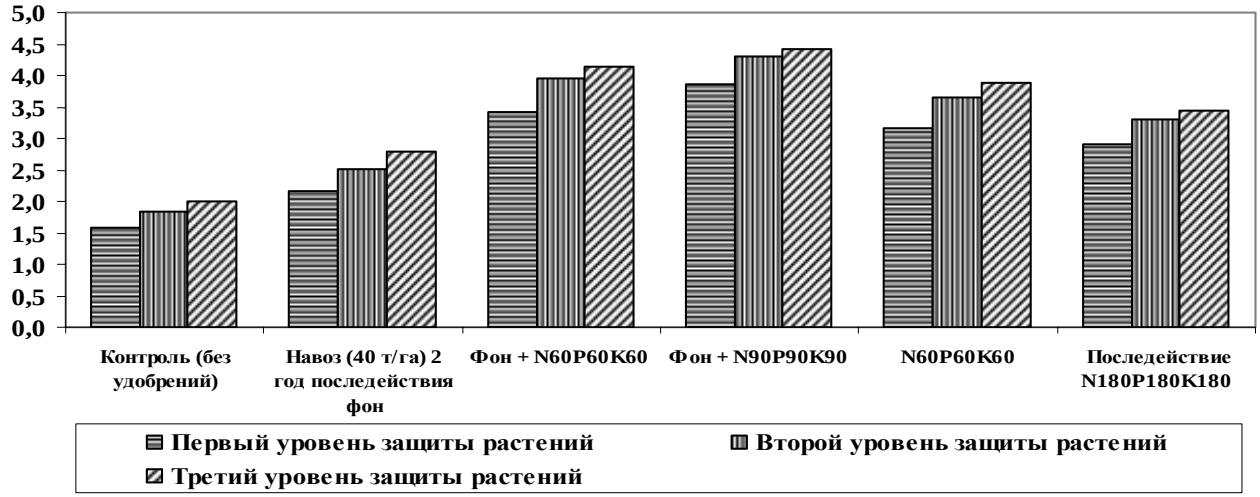

Рис. 5. Урожайность ячменя, в зависимости от применяемых систем удобрений и защиты растений, 2017-2019 гг., т/га ($НСР_{05}$ = 0,2 т/га)

В варианте с последействием 40 т/га навоза (второй год последействия) получено 2,2 т/га зерна (прибавка относительно контрольного варианта составила 0,6 т/га или 37,1 %).

В зависимости от доз применяемых минеральных удобрений урожайность ячменя возрастала. Применение их в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ совместно с последействием навоза обеспечивало получение 3,4 т/га и 3,9 т/га, соответственно. Средства защиты растений, применяемые в этих вариантах, способствовали дополнительному росту урожайности на 11,6-21,5 %.

Наибольшая величина прибавки урожайности обеспечивалась за счет совместного действия удобрений и средств защиты растений и достигала 2,9 т/га или 180,9 %.

При комплексном применении удобрений и средств защиты растений отмечалась более высокая окупаемость 1 кг NPK прибавкой урожая. Наибольшая ее величина получена в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ и составляла 8,8-12,8 кг.

Урожайность кукурузы на зерно в среднем за 2017-2019 гг. в контрольном варианте при первом уровне защиты растений составила 2,5 т/га (рис. 6).

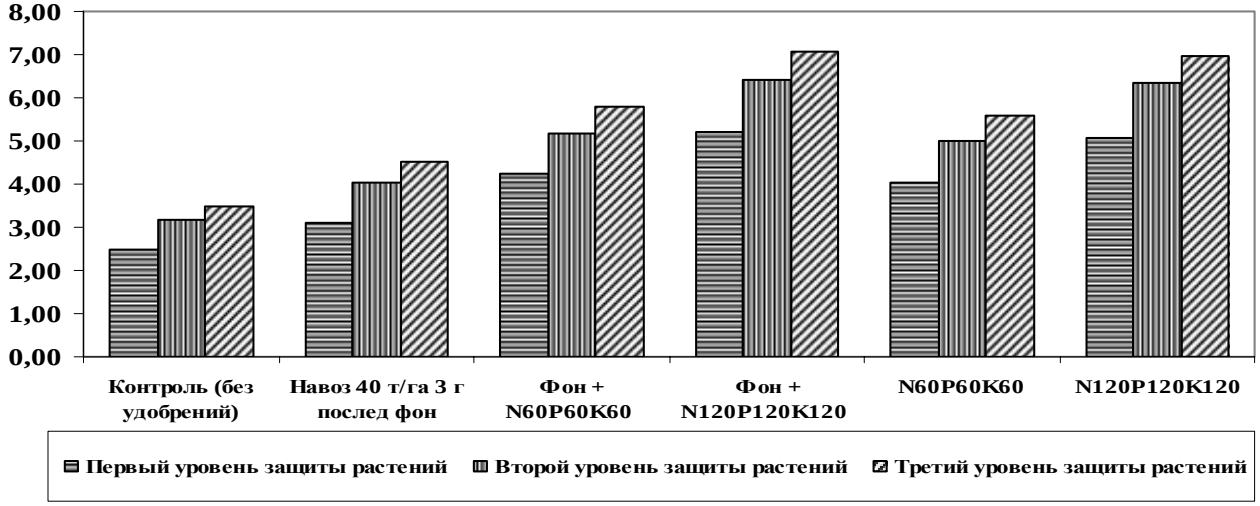

Рис. 6. Урожайность кукурузы на зерно, в зависимости от применяемых систем удобрений и защиты растений, 2017-2019 гг., т/га ($НСР_{05}$ = 0,3 т/га)

Последействие навоза (третий год) обеспечивало прибавку урожайности в 0,6 т/га при первом уровне защиты растений. При

использовании второго и третьего уровней защиты растений полученная прибавка урожайности взрастала и составляла: 1,5 т/га и 2,0 т/га, соответственно.

Внесение в вариантах с последействием навоза минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ способствовало росту урожайности до 4,2 т/га и 5,2 т/га, соответственно. Средства защиты растений (второй и третий уровни) дополнительно увеличивали урожайность в этих вариантах на 22,2-36,5 % и на 23,9-36,0 %, соответственно.

Прибавка урожайности кукурузы на зерно при комплексном применении удобрений и средств защиты растений составляла 1,5-4,6 т/га или 60,8-182,3 %.

Выводы

Применяемые удобрения обеспечивали значительную прибавку урожайности культур севооборота. Ее величина в зависимости от интенсивности применения удобрений составляла: 48,1-86,0 % – у озимой пшеницы; на 67,1-173,5 % – у сахарной свеклы; на 37,1-144,4 % – у ячменя; на 24,1-107,6 % – у кукурузы на зерно.

Средства защиты растений способствовали дополнительному росту урожайности: на 10,2-22,0 % – у озимой пшеницы, на 34,3-103,4 % – у сахарной свеклы, на 11,6-28,4 % – у ячменя, на 22,3-46,0 % – у кукурузы на зерно.

Наибольшая величина прибавки урожайности культур севооборота обеспечивалась за счет совместного действия удобрений и средств защиты растений и достигала: 67,4-132,6 % – у озимой пшеницы; 167,7-456,2 % – у сахарной свеклы; 59,2-180,9 % – у ячменя; 60,8-182,3 % – у кукурузы на зерно.

Окупаемость 1 кг NPK прибавкой урожая при комплексном применении удобрений и средств защиты растений возрастала и составляла 7,4-14,9 кг – при возделывании озимой пшеницы; 67,4-99,8 кг – при возделывании сахарной свеклы; 7,9-12,8 кг – при возделывании ячменя и 9,2-17,1 кг – при возделывании кукурузы на зерно.

Литература

1. Доманов Н. М., Ибадуллаев К. Б., Солнцев П. И. Технологии возделывания сельскохозяйственных культур различной степени интенсификации. Белгород: Отчий край, 2010. 220 с.

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

3. Минакова О.А. Влияние последействия удобрений на урожайность культур в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР / О.А. Минакова, Л.В. Александрова, Т.Н. Подвигина // Агрохимия. – 2019. – № 8. – С. 18-23.

4. Сычев В.Г. Результаты мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности севооборотов и изменения свойств почв в длительных опытах Географической сети / В.Г. Сычев, С.А. Шафран // Плодородие . – 2017. – №6. – С. 2-4.

5. Тютюнов С.И. Оценка эффективности применения удобрений и средств защиты растений в зернопаропропашном севообороте по продуктивности возделываемых культур/ С.И. Тютюнов, П.И. Солнцев, Н.К. Шаповалов // Сахарная свекла. – 2018. – № 10. – С.10-14.

6. Тютюнов С.И. Интенсификация земледелия при комплексном применении средств химизации на посевах сельскохозяйственных растений/ С.И. Тютюнов, П.И. Солнцев // Владимирский земледелец. – 2016. – № 4. – С. 12-15.

Сведения об авторах:

Тютюнов Сергей Иванович, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор;

Солнцев Павел Иванович; кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник,

Хорошилова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

Емец Максим Вячеславович, младший научный сотрудник; Горохова Жанна Юрьевна, младший научный сотрудник.

INFLUENCE OF INTENSIFICATION OF ELEMENTS OF CULTIVATION TECHNOLOGY ON CROP YIELD IN GRAIN-STEAMED CROP ROTATION

Tyutyunov S.I., Solntsev P.I., Khoroshilova Yu.V., Yemets M.V., Gorokhova Zh.Yu.

Belgorod Federal Agrarian Scientific Center of the RAS,
Russian Federation, Belgorod

Abstract. The influence of intensification of elements of cultivation technology on the productivity of crops in crop rotation is shown. An assessment is given to the methods of intensification of agricultural technologies based on the complex application of fertilizers and plant protection products.

Keywords: fertilizers, levels of plant protection, productivity, complex application, crop rotation.

УДК 631.445.24: 631.42: 631.559: 631.582:631.816

ПРОДУКТИВНОСТЬ ОДНОЛЕТНИХ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР, ОЗИМОЙ РЖИ, КАРТОФЕЛЯ, ЯЧМЕНЯ И ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В ДЛИТЕЛЬНОМ ОПЫТЕ

О.В. Чухина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», г. Вологда, Россия

E-mail dekanagro@molochnoe.ru

160555, с. Молочное, г. Вологда, ул. Шмидта,2, Россия

тел. (817-2) 52-57-30 факс. (817-2) 52-53-71

Аннотация: на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях северной части Нечерноземной зоны применение минимальных и расчетных доз удобрений в севообороте обеспечило в среднем за 28 лет исследований 4,4-5,8 т к.ед./га в год. При планировании отрицательного баланса калия и ежегодном внесении калийных удобрений в дозе 77-96 кг д.в./га в пахотном горизонте почвы происходит увеличение содержания его подвижных форм на 32-47 мг/кг, на 1класс. При внесении фосфорных удобрений в дозе 33-41 кг д.в./га содержание его меняется на 4-24 мг/кг почвы.

Ключевые слова: однолетние травы; озимая рожь; картофель; ячмень; севооборот; продуктивность; агрохимические показатели почвы.

Известно, что удобрения обеспечивают до 50% урожайности сельскохозяйственных культур. Особенно велика их роль в северной части Нечерноземья, где условия благоприятны для роста и развития растений, а почвы недостаточно обеспечены элементами питания растений.

В Вологодской области были периоды, когда удобрения вносились в дефицитных для нормального роста и развития растений количествах. Если в 1991 году на 1га пашни было внесено 122 кг/га

д.в. минеральных удобрений и 8,2 т/га органических, то в 1996 году только 29 кг/га д.в. и 3,2 т/га соответственно. Можно отметить, что за период 2004-2018 годы в области наметилась тенденция увеличения объемов внесения минеральных и органических удобрений в почву что, безусловно, отражается на продуктивности культур и плодородии почв. Но, к сожалению, повышение цен на агрохимикаты в 2020 и 2021 гг. приводит к снижению вносимых доз удобрений в хозяйствах.

Поэтому цель исследований – изучить возможность получения плановых уровней урожайностей культур и продуктивности севооборота и изучить тенденции изменения плодородия дерново-подзолистой почвы при применении минимальных доз и расчётных систем удобрения в севообороте.

Для решения поставленной цели в 1991-2018 гг. (7 ротаций севооборота) были проведены исследования в полевом стационарном опыте на опытном поле Вологодской ГМХА. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, среднесуглинистая. Пахотный слой почвы перед закладкой опыта (1990 г.) характеризовался слабокислой реакцией среды, очень высоким содержанием подвижного фосфора и средним – обменного калия, содержанием гумуса – 3,28%, легкогидролизуемого азота – 86 мг/кг почвы. Пахотный слой почвы перед 7-й ротацией севооборота (2014 год, через 24 года исследований) характеризовался на контроле среднекислой реакцией среды (pH_{KCl} 4,9), содержанием подвижного фосфора и обменного калия соответственно 132 и 55 мг/кг почвы, содержанием гумуса – 2,56%.

Опыт ведется в 4-польном севообороте: однолетние кормовые культуры (горохоовсяная, викоовсяная смесь), озимая рожь, картофель, ячмень, развёрнутом в пространстве и во времени. В годы исследований возделывались различные районированные сорта изучаемых культур.

Схема опыта в первой (I) ротации севооборота (1991-1994 г.) наряду с контрольным вариантом (1) содержала 4 испытывавшихся

варианта систем удобрения: 2-4 варианты – минеральные и 5 вариант органо-минеральная система, эквивалентная варианту 2 (табл.1).

Дозы удобрений в вариантах 2-5 рассчитаны по плановым балансовым коэффициентам использования питательных элементов из органических и минеральных удобрений [2, 3, 6-8] (табл.1).

1. Планируемые уровни урожайности культур и дозы удобрений в первой (1) (1991-1994 гг.) ротации севооборота

Элемент	Культура				Кб, %
	горохоовсяная смесь	озимая рожь	картофель	ячмень	
Планируемые урожаи, т/га					
	25,0	3,5	25,0	3,5	
Дозы удобрений, кг д.в. / га					
Вариант 2 *					
N	80	95	135	85	110
P_2O_5	40	45	55	40	90
K_2O	125	100	225	85	100
Вариант 3					
N	80	95	135	85	110
P_2O_5	40	45	55	40	90
K_2O	105	80	185	70	120
Вариант 4					
N	80	95	135	85	110
P_2O_5	40	45	55	40	90
K_2O	180	140	320	120	70
Вариант 5 Торфонавозный компост – 40 т/га					
N	35	60	70	30	110
P_2O_5	15	35	15	15	90
K_2O	110	95	175	70	100

Примечание. * – Вариант 1 – контроль без удобрений

Во второй-третьей (2-3) (1995-2002 гг.) ротациях севооборота схема опыта соответствовала: вариант 1 – контроль без удобрений; вариант 2 – припосевное удобрение однолетних культур N10 P10, зерновых культур P10, картофеля – N20 P20; вариант 3 – припосевное удобрение однолетних культур N10 P10, зерновых культур P10,

картофеля – N20 P20 + торфонавозный компост в дозе 20 т/га; вариант 4 – торфонавозный компост в дозе 20 т/га; вариант 5 – удобрение однолетних культур N55 P25 K60, озимой ржи N80 P35 K50, картофеля – N105 P30 K80, ячменя N60 P25 K30 + торфонавозный компост в дозе 20 т/га.

Т.е. во второй и третьей (2-3) ротациях севооборота (1995-2002 г.) наряду с вариантом без удобрений (1) испытывали вариант с припосевным удобрением (2); с припосевным удобрением на фоне торфонавозного компоста (3); вариант с торфонавозным компостом (4); органо-минеральную систему удобрения, в дозах, рассчитанных на получение планируемых урожаев культур, указанных в таблице 1, с помощью балансовых коэффициентов Кб по азоту 110%, по фосфору 100 и калию 200% (5).

Схема опыта за 4, 5, 6 ротаций севооборота 2003-2014 гг. представляла собой: вариант без удобрений (1), вариант с применением припосевного и припосадочного удобрений культур (2), два варианта исследуемых минеральных систем удобрения, различающихся Кб использования азота (3,4) и вариант органо-минеральной системы (5), эквивалентный по элементам 3 варианту. По всем вариантам опыта запланирован отрицательный баланс по калию (Кб – 150%) и нулевой баланс по фосфору (Кб – 100%) (табл.2.).

В 2003-2014 гг. по азоту в 3 и 5 вариантах систем запланирован отрицательный баланс, а в 4 варианте – положительный баланс.

В седьмой (7) (2015-2018 гг.) ротации севооборота схема опыта отличалась от предыдущей дифференцированными дозами калийных удобрений. Схема соответствовала: вариант 1 – контроль без удобрений; вариант 2 – припосевное удобрение однолетних, зерновых культур N12 P16 K16, картофеля – N20 P20; варианты 3, 4 5– расчётные системы удобрения культур, на которых дозы азотных и фосфорных удобрений, и, соответственно балансовые коэффициенты использования элементов питания удобрений и почвы соответствовали вариантам 3, 3 и 5 предыдущего севооборота, а по калию были дифференцированы. Кб по калию на 3 и 5 вариантах соответ-

ствовал 120%, а на 4 варианте – 80%. На 3,5 вариантах вносились дозы под викоовсяную смесь, озимую рожь, картофель, ячмень соответственно 130 кг д.в./га, 100, 225 и 90 кг д.в./га. А на 4 варианте соответственно культуре 160 кг д.в./га, 120, 270, и 110 кг д.в./га.

2. Планируемые уровни урожайности культур и рассчитанные на их получение дозы удобрений в 2003-2014 гг.

Элемент	Культура				Кб, %
	викоовсяная смесь	озимая рожь	картофель	ячмень	
Планируемые урожаи, т/га					
	25	3,5	25	3,5	
Дозы удобрений, кг д.в. / га					
Вариант 2 *					
N	12	12	20	12	-
P_2O_5	16	16	20	16	-
K_2O	16	16	-	16	-
Вариант 3					
N	75	90	125	80	120
P_2O_5	35	40	50	40	100
K_2O	85	65	150	60	150
Вариант 4					
N	110	130	190	120	80
P_2O_5	35	40	50	40	100
K_2O	85	65	150	60	150
Вариант 5 Торфо-навозный компост – 40 т/га					
N	50	80	70	30	120
P_2O_5	20	35	15	10	100
K_2O	65	65	105	40	150

Примечание. * Вариант 1 – контроль без удобрений.

При расчете доз удобрений сначала (1-3 ротации) использованы нормативы по выносу элементов питания 1т основной продукцией с учетом побочной по результатам других исследователей, а затем – по результатам предыдущих лет опытных исследований.

Определение доз удобрений данным методом проводят по следующим формулам 1-2:

$$Дд = (Ву - (О \times К_1)) / К_2, кг д.в./га, \quad (1)$$

$$Ду = (Ву - (О \times К_1)) / (К_2 \times С), ц/га, где \quad (2)$$

Дд – доза в действующем веществе;

Ду – доза конкретного удобрения;

$К_1$ – балансовый коэффициент использования элемента питания органического удобрения или удобрения предшественника, выраженный в долях единицы;

$К_2$ – балансовый коэффициент использования элемента питания минерального удобрения в среднем за ротацию, выраженный в долях от единицы;

О – органическое удобрение или корневые и пожнивные остатки, или удобрение предшественника, кг д.в. на 1 га;

С – содержание действующего вещества в конкретном удобрении.

Фосфорно-калийные и органические удобрения вносили под зяблевую вспашку в виде двойного суперфосфата и калийной соли, причем органические удобрения в соответствующих схемам опыта дозах 20 и 40 т/га вносили под картофель.

Азотные удобрения, в основном в виде аммиачной селитры, вносили под предпосевную культивацию. На делянках с озимой рожью под предпосевную культивацию вносили 1/3 годовой дозы азота, остальные 2/3 дозы азота – в подкормку. При посеве вносили под озимую рожь, викоовсяную смесь и ячмень сложное азотно–фосфорно–калийное удобрение, под картофель – нитроаммофос (на 2 варианте только при посеве). Зерновые сеяли сеялкой СЗУ-3,6, картофель высаживали сажалкой СН-4Б-1. Технология возделывания культур в опыте была общепринятой для Северо-Западной зоны.

Повторность опыта – четырехкратная. Расположение вариантов -систематическое. Площадь опытной делянки 140 м^2, учетной – не менее 24 м^2. Учет урожайности всех культур осуществлялся сплошным методом. Однолетние убирали самоходной косилкой Е – 282, зерновые культуры – прямым комбайнированием «Сампо»,

картофель – картофелекопалкой с последующим ручным подбором клубней.

Соотношение между товарной и нетоварной частями урожая устанавливали по пробным снопам. Образцы картофеля составлялись из 10 кустов на каждой делянке. Урожаи приведены к стандартной влажности: зерно – 14%, солома – 16%, викоовсяная смесь на зеленую массу – 75%, клубни и ботва картофеля – 80%.

При анализах товарной и нетоварной частей урожаев после мокрого озоления по К. Гинзбург определяли: азот по Кьельдалю, фосфор – на фотоколориметре, калий – на пламенном фотометре [4].

В начале и конце каждой ротации севооборота для определения агрохимических показателей почвы с каждого поля отбирали образцы и в них определяли агрохимические показатели общепринятыми методами.

Погодные условия в период вегетации растений во все годы исследований, в основном, соответствовали средним многолетним значениям. Что касается погодных условий 2010г., то лето было сухим и жарким (ГТК = 0,8), поэтому из-за дефицита влаги и аномальной жары не был получен плановый уровень урожайности изучаемых культур. Самым дождливым оказался 2017 год. Математическая обработка материалов исследований проведена методом однофакторного дисперсионного анализа при помощи ЭВМ и по Б.А. Доспехову (1985 г.) [1].

Результаты исследований. В среднем за 28 лет исследований продуктивность культур севооборота при применении удобрений достигла 4,4-5,8 т к.ед./га в год Применение различных систем удобрения (3-5 вар.) в среднем за 28 лет исследований обеспечило 92-100% планового уровня продуктивности севооборота, что фактически соответствовало плановому уровню на 5 варианте (табл.3).

Выход основной продукции сильно зависел от изучаемой культуры и мало менялся в зависимости от изучаемых доз удобрений. В среднем за 28 лет исследований выход основной продукции культур составил 85-86% (табл.3).

3. Продуктивность культур севооборота и выход основной продукции при применении удобрений, 1991-2018 гг.

Вариант	1 ротация (1991-1994гг.)	2 ротация (1995-1998гг.)	3 ротация (1999-2002гг.)	4 ротация (2003-2006гг.)	5 ротация (2007-2010гг.)	6 ротация (2011-2014гг.)	7 ротация (2015-2018гг.)	Средние за 28 лет
Продуктивность к. ед., т/га								
1	4,4	3,1	1,8	3,3	3,9	3,6	3,8	3,4
2	5,6	4,2	2,1	4,5	4,6	4,4	5,1	4,4
3	5,6	4,6	3,2	5,9	5,9	5,3	6,7	5,3
4	5,7	4,5	3,1	6,2	6,5	5,9	7,4	5,6
5	5,7	5,3	4,0	6,6	6,2	5,7	7,2	5,8
Выход основной продукции, %								
1	83	86	87	86				
2	85	85	86	86				
3	85	84	86	86				
4	84	85	86	86				
5	86	84	86	86				

Вынос элементов питания с урожаем культур возрастал при применении удобрений. В среднем за 7 ротаций севооборота вынос фосфора при применении расчётных систем удобрения различался на 1-3 кг/га. Вынос азота, фосфора и калия незначительно возрастал при применении органо-минеральной системы удобрения культур, соответственно на 3-11 кг/га, 2-3 и 6-14 кг/га (5 вар.) (табл. 4).

Различные дозы удобрений увеличивали вынос азота в 1,4-2,1 раза, фосфора – в 1,4-2,0 раза и калия в 1,4-2,1 раза по сравнению с контролем. Это повлияло на баланс элементов питания в почве. Самый высокий вынос элементов питания наблюдался на 5 варианте, где на протяжении всех 28 лет изучалась полная органо-минеральная система удобрения культур севооборота.

4. Вынос элементов питания при удобрении культур севооборота, в среднем за 1991-2018 гг., кг/га

Варианты	Азот	Фосфор	Калий
1	54	18	60
2	76	26	86
3	101	33	112
4	109	34	120
5	112	36	126

Применение удобрений обеспечило высокую оплату 1 кг д.в. прибавками урожая всех изучаемых культур, причём при применении минимальных доз удобрений оплата была самой высокой. Различные дозы удобрения культур обеспечили оплату прибавкой в 22,9-10,3 кг к.ед. на 1кг д.в. внесенного удобрения (рис. 1).

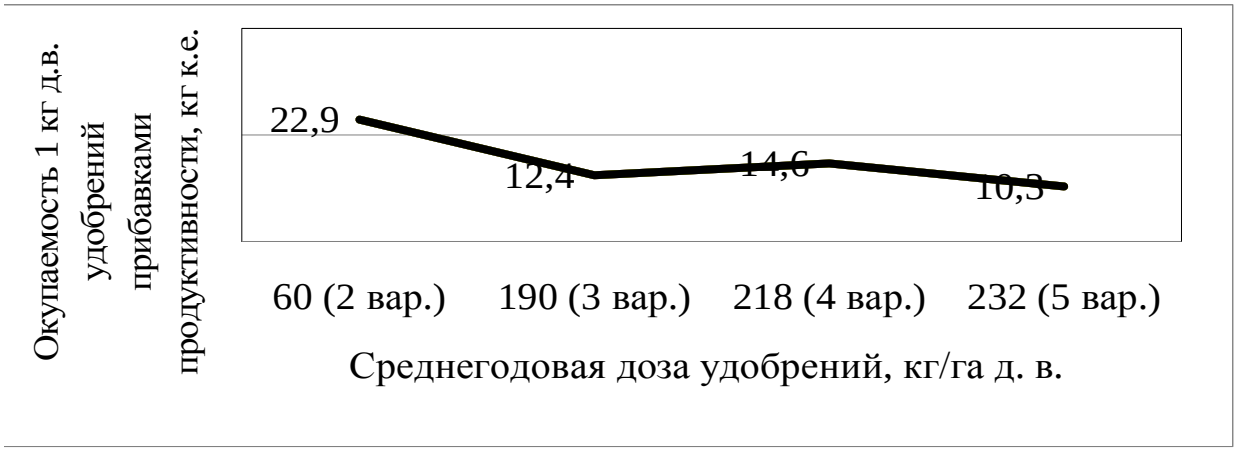

Рис. 1. Влияние различных доз удобрений на окупаемость NPK прибавками продуктивности в среднем за 1991-2018гг., кг к.ед./кг д.в.

В среднем за 28 лет исследований при применении различных доз удобрений в севообороте фактические балансовые коэффициенты ($К_б$) по азоту, фосфору, калию соответствовали 504%, 149 и 567% при внесении минимальных доз удобрений в течение 24 из 28 лет исследований и внесении полной расчётной дозы удобрения в первую ротацию севооборота (2 вар.). На 3 и 5 вариантах Кб по фосфору был близок к 90%, составил соответственно 91 и 86 %. Следует отметить, что положительный баланс этого элемента на-

блюдается при насыщенности удобрениями в 37 кг д.в./га в год. Более положительный баланс по фосфору наблюдался на 5 варианте при внесении органических и минеральных удобрений из расчёта 41 кг д.в. на 1га. На 4 варианте наблюдался отрицательный баланс по фосфору, интенсивность которого составила 0,97. По калию и азоту на 3-5 вариантах фактические балансовые коэффициенты составили соответственно 120-156%, 137-289% (рис. 2).

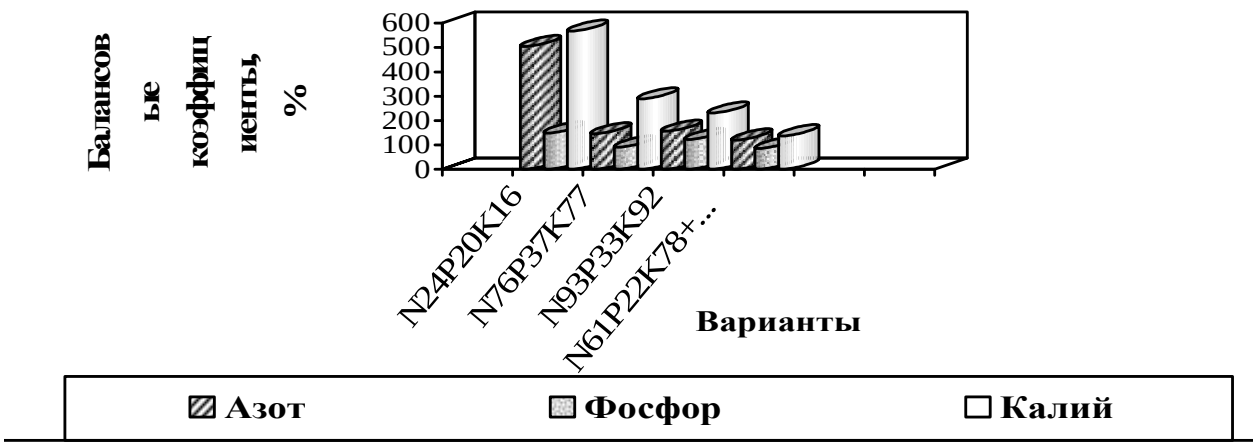

Рис.2. Фактические балансовые коэффициенты использования элементов питания удобрений и почвы, %

Это свидетельствует о том, что при внесении удобрений в дозах по азоту 76-95кг д.в./га, по калию – 77-96 кг д.в./га наблюдается отрицательный баланс этих элементов в севообороте.

Под действием удобрений в пахотном слое почвы (0-20см) с 2014 по 2018 годы оптимизировалась обменная, снизилась гидролитическая кислотность. Это можно объяснить поддерживающим известкованием. На варианте с органоминеральной системой удобрения снижение гидролитической кислотности не наблюдалось (табл.5).

Сравнивая изменения агрохимических показателей почвы 2014 и 2018 годов исследования, следует отметить, что в слое 0–20см было отмечено незначительное – на 0,02% по сравнению с предыдущей ротацией повышение содержания гумуса при применении полных расчётных минеральных систем удобрения.

5. Агрохимические показатели дерново- подзолистой почвы при применении различных доз удобрений под культуры севооборота

Горизонт, глубина, см	Вариант	pH_{KCl}	Гумус, %	$H_г$, ммоль/ 100 г почвы	S, мг – ммоль / 100 г почвы	Подвижный P_2O_5, мг/кг	Обменный K_2O, мг/кг
An, 0-20	0*	5,1	3,28	2,3	8,9	266	114
2014 год, конец 6-й ротации севооборота							
	1	4,9	2,56	3,6	6,6	132	55
	2	4,9	2,56	3,6	6,5	214	68
	3-4	4,9	2,54	3,8	6,7	250	135
	5	5,1	2,78	2,8	11,0	266	135
$НСР_{05}$		0,1	0,17	0,3	1,0	14	13
2018 год, конец 7-й ротации севооборота							
	1	5,1	2,56	3,4	7,1	126	53
	2	5,0	2,58	3,2	8,3	234	70
	3	5,1	2,57	3,0	8,2	274	157
	4	5,1	2,63	3,2	9,8	260	161
	5	5,6	2,78	2,8	10,5	270	145
$НСР_{05}$		0,1	0,22	0,2	1,6	16	12

Примечание. 0* – данные перед закладкой опыта, 1990 г.

При совместном применении минеральных и органических удобрений не наблюдалось увеличения содержания гумуса. В не удобряемой почве (контроль) содержание подвижного фосфора в пахотном слое снижалось незначительно. Применение минимальных доз удобрений вызвало увеличение содержания подвижного фосфора в пахотном слое на 20 мг/кг почвы по сравнению с 2014 г. При внесении расчётных доз удобрений (3-5 вар.) наблюдалось незначительное увеличение этого элемента в пахотном слое почвы, на 4-40 мг/кг почвы. Возделывание культур севооборота без удобрений и при применении минимальных доз калийных удобрений не привело к значительному снижению содержания обменного калия в пахотном слое почвы за 4 года исследований. Без внесения фосфорных и калийных удобрений скорость снижения содержания элементов питания составила 0,5 мг/кг в год. При внесении 12 кг д.в./га калийных удобрений в год увеличилось содержание обмен-

ного калия в 0-20см почвы на 2 мг/кг почвы. Хотя вынос элемента культурами значительно превысил вносимую дозу. Видимо, калий, как более мобильный элемент по сравнению с фосфором, способен переходить из других менее доступных форм почвы, а также растения его поглощают не только из пахотного, но и из подпахотного слоя.

Следовательно, при возделывании культур без удобрений почва теряет содержание подвижных форм фосфора и калия 0,5мг/кг/год, плодородие при этом может снизиться на 1 класс примерно через 70-100 лет. При внесении доз фосфорных удобрений на уровне 17-41кг д.в. ежегодно за период 2014-2018 годы наблюдается даже увеличение содержания подвижных фосфатов в почве. Что касается обменного калия, то его содержание увеличивается при внесении 136-165 кг д.в./га. Случаи, когда при неполном возмещении K_2O урожаем, наблюдается увеличение содержания обменного калия в почве, отмечались и результатами других исследований как наиболее характерные для чернозёмов и серых лесных почв [9].

При возделывании культур без удобрений через 28 лет пахотный слой почвы теряет содержание подвижных форм фосфора на 140 мг/кг, при этом скорость падения составляет 5 мг/кг/год. Плодородие при этом снижается на 2 класса, переходит из пашни с очень высоким содержанием в класс с повышенным содержанием элемента. Количество фосфора, дополнительно вынесенного из почвы, снижающего его содержание на 10 мг/кг, составило на контроле и при внесении 20 кг д.в./га (2 вар.) 36-55 кг/га. По данным В.Г. Сычёва и С.А. Шафрана данная величина для дерново-подзолистой легкосуглиностой почвы соответствует 42-125 кг/га [5].

При среднегодовом внесении фосфорных удобрений из расчёта 33-41 кг д.в./га содержание его увеличивается через 28 лет на 4 – 24 мг/кг почвы.

Через 28 лет на контрольном варианте без удобрений снижается содержание подвижных форм калия в 1,9 раз, почва переходит из группы со средним содержанием подвижных форм калия в группу с

низким содержанием элемента, т.е. почвенное плодородие снижается на 1 класс. При среднегодовом внесении калийных удобрений из расчёта 77-96 кг д.в./га содержание его увеличивается через 28 лет на 32-47 мг/кг почвы.

Таким образом, на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях северной части Нечерноземной зоны применение расчетных систем удобрения обеспечило в среднем за 28 лет исследований 5,3- 5,8 т к.ед./га культур севооборота в год. Продуктивность севооборота соответствует 92- 100% планового уровня. При возделывании культур без удобрений за 28 лет пахотный слой почвы теряет содержание подвижных форм фосфора и калия в 1,9 раз, при этом скорость падения составляет 5 мг/кг/год, плодородие при этом снижается на 2 класса. Почва переходит из группы со средним содержанием подвижных форм калия в группу с низким содержанием элемента, т.е. почвенное плодородие снижается на 1 класс. Поэтому на среднеокультуренной среднесуглинистой дерново–подзолистой почве для сохранения в почве подвижных форм фосфора и калия на бездефицитном уровне рекомендуется ежегодно вносить фосфорные и калийные удобрения в дозах соответственно 33-41 и 77-96кг д.в./га при условии дифференцированного внесения под культуры севооборота азотных удобрений в дозе 76-95 кг д.в./га.

Литература

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта./ Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат,1985. – 351с.

2. Жуков, Ю. П. Система удобрений в хозяйствах Нечерноземья. / Ю.П. Жуков. – М.: Московский рабочий, 1983.- 144 с.

3. Жуков, Ю. П. Расчёт системы удобрения по балансовым коэффициентам./ Ю.П. Жуков // Земледелие. 1988. № 1. – С. 40-42.

4. Практикум по агрохимии // Под ред. Ягодина Б.А. – М.: Агропромиздат, 1987. – 512 с.

5. Сычёв, В. Г. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. // В. Г. Сычёв, С. А. Шафран. – М.: ВНИИА, 2013. – С. 260–273.

6. Чухина, О. В. Продуктивность культур и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы в севообороте при применении различных доз удобрений./ О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. 2015. № 5. – С. 20-28.

7. Чухина, О. В. Продуктивность культур и обеспеченность дерново-подзолистой почвы питательными элементами при расчётных дозах удобрения в севообороте: Дис. … канд. с.-х. наук. Москва, 1999. – 154с.

8. Чухина, О. В Плодородие дерново – подзолистой почвы и продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений./ О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. 2013. № 11. – С. 10-18.

9. Яговенко, Л. А. Оптимизация системы удобрения в севообороте и агрохимические пути повышения плодородия серых лесных почв. Автореферат диссертации на степень доктора с. – х. наук. Брянск, 1995. – 63с.

PRODUCTIVITY OF ANNUAL FORAGE CROPS, WINTER RYE, POTATOES, BARLEY AND FERTILITY OF SOD-PODZOLIC SOIL WHEN FERTILIZERS ARE APPLIED IN LONG-TERM EXPERIMENTS

Chukhina O.V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «The Vereshchagin Vologda State Dairy Farming Academy», Vologda, Russia

E-mail dekanagro@molochnoe.ru

Annotation. On the cespitose and podsolic srednesuglinisty soil in the conditions of northern part of the Nonchernozem zone application of the minimum and settlement doses of fertilizers in a crop rotation provided on average in 28 years of researches 4,4-5,8 t fodder units./hectare in a year. When planning negative balance of potassium and annual introduction of potash fertilizers in a dose of 77-96 kg active ingredient /hectare in the arable horizon of the soil there is an increase in the maintenance of its mobile forms by 32-47 mg/kg, on 1klass. At introduction of phosphoric fertilizers in a dose of 33-41 kg active ingredient of century the contents it changes by 4-24 mg / kg of soil.

Keywords: annual grasses; winter rye; potatoes; barley; crop rotation; productivity; agrochemical indicators of sod-podzolic soil.

ИЗУЧЕНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА, ПОЧВ И РЕЛЬЕФА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ОПЫТОВ

П.А. Шарый [1.2], Л.С.Шарая [1.3], О.В. Рухович [1], С.И. Шкуркин [1]

[1.]ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н.Прянишникова»

[2]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

[3]Институт экологии Волжского бассейна РАН

Аннотация. Изучено совместное влияние климата, почв и рельефа на характеристики урожайности ярового ячменя (в опыте Ох, в контроле К и прибавка Ох–К, усредненные по времени за 1982–2018 гг.) на западе Окского бассейна. Построенные модели множественной регрессии объясняют 58–69 % дисперсии характеристик урожайности. Рассмотрен также предложенный нами показатель эффективности внесения удобрений Keff, определенный как (Ох–К)/К. На показатель эффективности Keff оказывает влияние водосборная площадь МСА. При сравнении Keff с окупаемостью показано, что они пропорциональны друг другу, за исключением вариантов с качественно разными удобрениями.

Ключевые слова: климат, почва, рельеф, удобрения, урожайность, яровой ячмень, показатель эффективности.

В Российской Федерации, первой в мире стране по засеваемой ячменем площади – 35 % посевной площади страны (Репко, 2018), эта культура занимает второе место после пшеницы (Берсенева, 2016). Однако урожайность ячменя в России ниже в 2,1-7,0 раза по сравнению с рядом других стран (Федотова и др., 2018; Barley Production, Improvement, and Uses, 2011). Причина этого состоит в том, что в последние годы в России существенно увеличилась стоимость минеральных удобрений, их вносится в 4,5 и 5 раза

меньше по сравнению с Германией и Белоруссией соответственно (Сычев и др., 2018). С другой стороны, государственное субсидирование программы окультуривания почв в России практически перестало функционировать (Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы, 2018), а внесение удобрений, например в кислые почвы, малоэффективно из-за того, что в них корни растений не способны функционировать в полной мере (Baligar, Bennett, 1986). В то же время, в странах Европейского союза из расчета на 1 га дотации государства составляют 94,3 долл., в Канаде – 83 долл., в США – от 40 до 400 долл., в России – немногим более 6 долл. (Державин, 2004).

Важным при оценке урожайности является показатель эффективности действия удобрений. Он определяется разными способами (Ladha et al. 2005; Ghosh, 2015). Различают агрономическую, экономическую, физиологическую, энергетическую эффективность. Мы предложили простой безразмерный показатель эффективности в виде отношения Keff = (Ox–K)/K = Ox/K – 1. Этот показатель равен 1, когда прибавка урожая равна контролю. Для ячменя в США он оценен в среднем как Keff = 1, в странах Западной Европы Keff > 1, а для зерновых культур в Нечерноземной зоне России – как Keff = 0,17–0,50 (Ториков и др., 2014).

Цель нашего исследования – определить влияние климата, типа почв и рельефа на характеристики урожайности ярового ячменя (Ox, K и Ox–K) на западе Окского бассейна, а также на показатель эффективности Keff. Особое внимание было уделено влиянию рельефа, поскольку для увеличения урожайности нет способов изменения климата или типов почв, а выбор участков для посева ярового ячменя может быть изменен. Количественные исследования совместного влияния климата, почв и рельефа на урожайность озимой пшеницы и некоторых других культур с помощью множественной регрессии, проведенные нами ранее и показали, что рельеф может быть ведущим фактором (Шарый и др., 2012; 2018; Shary et al., 2016; 2020).

Материалы и методы. На западном участке Окского бассейна протяженностью 3,18° по широте и 2,04° по долготе были выбраны 49 площадок с дерново-подзолистыми, серыми лесными и черноземами выщелоченными и оподзоленными. Из объединенной базы данных Агрохимической службы и геосети «Агрогеос» (Сычев и др., 2008) взяты усредненные многолетние данные (с 1982 по 2018 г.) по максимальной урожайности ярового ячменя в опыте Ох, урожайности на контроле К (без удобрений) и их разность, прибавка Ох–К. Данные о климате взяты из открытой глобальной базы данных WorldClim разрешения 900 м, данные о высотах земной поверхности взяты из открытой глобальной базы данных SRTM30 разрешения 900 м. Для расчета моделей множественной регрессии и их верификации применяли ранее описанные методы. Поскольку типы почв не являются числовой характеристикой, для их описания использовали индикаторные переменные (Шарый, Пинский, 2013), называемые далее индикаторами. Каждый индикатор принимает два разных числовых значения, обычно 0 и 1. Таким образом, DP = 1 означает дерново-подзолистые почвы (DP = 0 – другие), SL = 1 отвечает серым лесным почвам (SL = 0 – другим). Равенство DP = SL = 0 кодирует черноземы. Поскольку площадь сбора MCA очень резко, на порядки, возрастает в доньях долин по сравнению со склонами. Был введен еще индикатор IM, равный 1, при MCA больше среднего MCAav, а иначе – нулю.

Результаты. 1. Построены модели множественной регрессии для урожайности, контроля и прибавки ярового ячменя на западе Окского бассейна, которые учитывают климат, рельеф и типы почв (рис. 1). Эти модели объясняют 58–69 % дисперсии характеристик урожайности, что больше, чем при учете только климата, и выявляют ведущие факторы среды, с которыми они связаны. Ведущие факторы среды не одинаковы для этих трех характеристик урожайности.

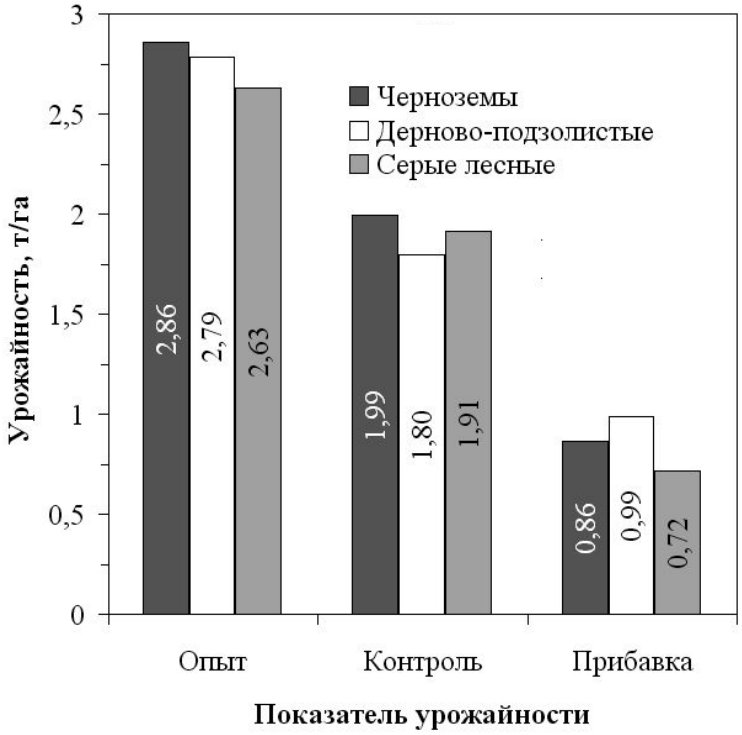

Рис.1. Средняя урожайность ярового ячменя для разных типов почв

2. Выявлено, что роль переменных и $(P–Pav)^2$, где, например, P – сумма осадков за месяц или период, а Pav – их среднее значение по точкам наблюдения, важна при часто наблюдаемой нелинейности связей урожайности ячменя с климатом. Мы провели сравнение их со стандартным отклонением SD(P) и дисперсией $\sigma^2(P)$, соответственно, выявили, что эти величины оказываются достаточно близкими (рис. 2). А это означает, что указанные переменные являются характеристиками вариабельности условий среды, которые рассматриваются в литературе факторами, потенциально влияющими на экосистему факторы (Currie, 1991).

3. Для урожайности ярового ячменя без внесения К удобрений, то есть на контроле, ведущим климатическим фактором является дефицит воды WD. Связь с этим фактором в модели регрессии нелинейная. Согласно модели (1), урожайность на контроле уменьшается в дерново-подзолистых почвах, а также для расчлененного рельефа $DP \times rot^T$. Уменьшение урожайности контроля в них независимо подтверждено тем, что ее среднее значение в этих почвах меньше, чем в серых лесных почвах или в черноземах.

$$K = 3{,}55 \cdot 10^{-5} \cdot (WD - WDav)^4 - 2{,}37 \cdot |T06 - T06av| - 5{,}19 \cdot (T11 - T11av)^2 - 0{,}142 \cdot DP \cdot rot^T + 2{,}11;$$

$$R^2 = 0{,}692 \ (P < 10^{-6}). \qquad (1)$$

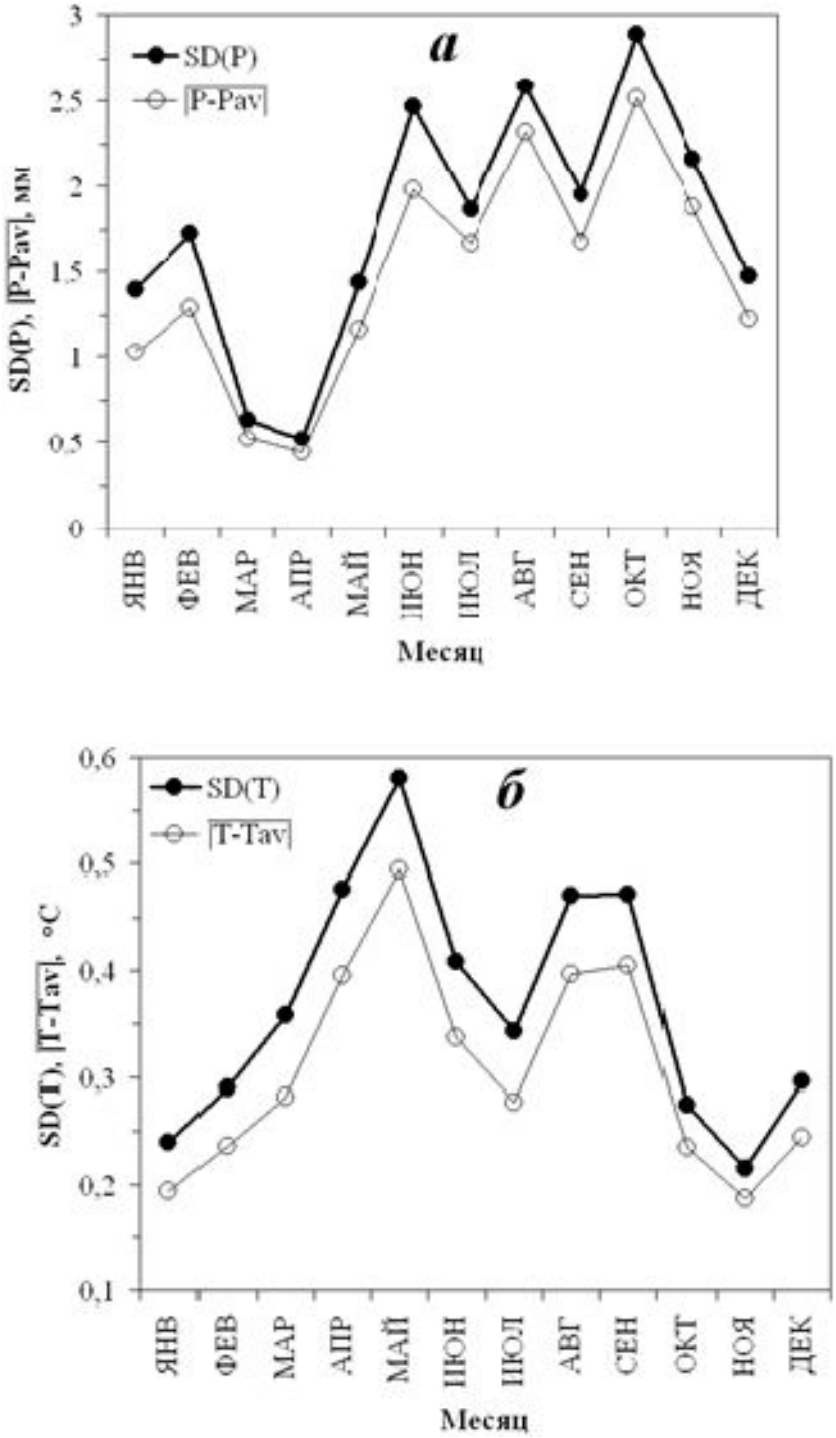

Рис.2. Распределение по месяцам значений и стандартного отклонения SD(P) (а), а также и SD(T) (б)

4. В опыте с внесением минеральных удобрений Ox ведущим фактором среды были осадки мая P05, связь с которыми нелинейная $(P05–P05av)^2$. Эта нелинейность объясняется тем, что в сухих условиях осадки мая благоприятны для ячменя, но во влажных условиях нижних частей склонов и долин избыток влаги негативно влияет на аэрацию почвы и функционирование корневой системы растений. Для другого влияющего фактора – средней по времени разности температур дня и ночи ΔT – выявлена отрицательная связь с урожайностью в опыте. Большие значения этой разности негативно влияют на фотосинтез и дыхание ячменя. Модель (2) также показывает уменьшение урожайности в серых лесных почвах SL, что подтверждается сравнением средних для разных типов почв. Согласно модели (2), это уменьшение в серых лесных почвах возрастает для расчлененного рельефа SL · khe.

$$Ox = – 0{,}888 \cdot P05 + 0{,}353 \cdot (P05–P05av)^2 – 3{,}65 \cdot \Delta T – \\ – 0{,}979 \cdot SL \cdot\cdot khe^T + 76{,}2; \\ R^2 = 0{,}580\ (P < 10^{-6}). \qquad (2)$$

5. Согласно полученной модели (3), прибавка Ox–K в зерне ярового ячменя за счет внесения минеральных удобрений возрастает с ростом вариабельности осадков мая в дерново-подзолистых почвах $DP \cdot |Pspr–Pspr_{AV}|$, что независимо подтверждено сравнением средних значений прибавки для разных типов почв. По этой модели прибавка возрастает в местах с увеличенной площадью сбора на северо-западных склонах $IM \cdot \sin A_0$, то есть в долинах и нижних частях склонов, где влажность почв определят не только осадки, но также сбор воды с вышележащих склонов. Влияние площади сбора подтверждено сравнением средних значений прибавки на площадках со значениями выше среднего по выборке и ниже. При этом прибавка возрастает больше (на 40 %), чем урожайность в опыте (на 30 %) или на контроле (на 25 %). Согласно модели (3), прибавка возрастает с ростом среднегодовой температуры MAT. По-видимому, средняя обеспеченность теплом изучаемых участков в

регионе недостаточна для ярового ячменя, и для них прибавка будет увеличиваться при потеплении.

$$Ox–K = 0{,}337 \cdot DP \times |Pspr–Pspr_{AV}| + 0{,}582 \cdot IM \cdot \sin A_0 + $$
$$+ 0{,}846 \cdot MAT + 0{,}00684 \cdot |Z–Zav| – 3{,}56;$$
$$R^2 = 0{,}640,\ P < 10^{-6}. \qquad (3)$$

6. Показано, что в долинах и нижних частях склонов, которые количественно описываются увеличенной площадью сбора, возрастают не только характеристики урожайности ярового ячменя, но и показатель эффективности внесения удобрений Keff, определенный как отношение прибавки к урожайности на контроле (Ox–K)/K. Средний показатель эффективности внесения удобрений Keff выше (0,62) в местах с площадью сбора больше средней, чем в других местах (0,52); различие между этими местами больше, чем между типами почв. Это связано с дополнительным по отношению к осадкам поступлением воды с вышележащих склонов, увеличивающим влажность почв. Сравнение Keff с окупаемостью внесения удобрений, взятой нами из литературы, показало, что они пропорциональны за исключением случая, когда состав удобрений качественно разный: NPK в одном варианте и уменьшенная доза NPK плюс микроудобрения – в другом.

Литература

1. Шарый П.А., Шарая Л.С., Рухович О.В., Шкуркин С.И. Прогнозирование урожайности ярового ячменя с учетом природных факторов на западе Окского бассейна // Плодородие. 2021. №. 4 (121). С. 66-69.

STUDY OF THE JOINT INFLUENCE OF CLIMATE, SOILS AND TOPOGRAPHY ON THE YIELD CHARACTERISTICS OF SPRING BARLEY BASED ON THE RESULTS DATABASES OF THE GEOGRAPHICAL NETWORK OF EXPERIMENTS

***Shary P.A.*[1.2], *Sharaya L.S.* [1.3], *Rukhovich O.V.* [1], *Shkurkin S.I.*[1]**

[1]FGBNU "VNII Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov"
[2]Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences
[3]Institute of Ecology of the Volga Basin, Russian Academy of Sciences

Abstract. The joint influence of climate, soils, and relief on the yield characteristics of spring barley (in the experiment Ox, in the control K and Ox–K increase, averaged over time for 1982–2018) in the west of the Oka basin was studied. The constructed multiple regression models explain 58–69% of the variance in yield characteristics. We also considered the index of efficiency of fertilizer application Keff, proposed by us, defined as (Ox–K)/K. Keff is affected by the catchment area of the MCA. Comparison of Keff with payback showed that they are proportional to each other, with the exception of options with qualitatively different fertilizers.

Key words: climate, soil, relief, fertilizers, productivity, spring barley, efficiency index.

УДК 53.082.52:631.811.1

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОМЕТРИИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

***О.А. Щуклина*[1], *Р.А. Афанасьев*[2]**

[1]ФГБУН Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина, Москва

[2]ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва

oashuklina@gmail.com, rafail-afanasev@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена эффективность применения портативных фотометрических N-тестеров отечественного и зарубежного производства «Спектролюкс» и «Yara» для оперативной диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур. Результаты полевого эксперимента, проведенного в 2012-2015 годах в условиях Центрального района Нечерноземной зоны на яровых зерновых культурах (ячмень, тритикале) и горчице белой, показали эффективность оперативной диагностики обеспеченности культур азотным питанием. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, хорошо обеспечена фосфором, среднеобеспечена калием, имеет низкое содержание гумуса (1,7-1,9%). Для проведения испытаний приборов культуры подкармливались в ранние фазы развития аммиачной селитрой с шагом 30. Метеорологические условия в годы проведения эксперимента были различными. Данные фотометрической диагностики, полученные в начальные фазы развития культур (выход в трубку на ячмене и тритикале, бутонизация на горчице) имели сильную корреляционную зависимость с урожайностью культур звена полевого севооборота и баллами стеблевой диагностики, проводимой параллельно с фотометрией.

Ключевые слова: минеральные удобрения, азотное питание, фотометрическая диагностика, урожайность, подкормки, аммиачная селитра, N-тестер.

Минеральное питание играет важную роль в росте и развитии растений и является одним из наиболее доступных факторов для регулирования их жизнедеятельности [11, 15]. Азот – важнейший и в то же время самый мобильный элемент. При нахождении основных абиотических факторов (свет, тепло, вода) в оптимуме азот будет являться главным элементом, от которого зависит величина урожайности сельскохозяйственных культур [11]. Своевременное, направленное и правильное воздействие на процессы корневого и внекорневого питания влияет на ход формирования и величину урожая. Наибольших успехов в выращивании высоких урожаев можно добиться только при комплексной диагностике питания растений. В неё входит регулярное полное агрохимическое обследование полей, по результатам которого составляется план минерального питания сельскохозяйственных культур, а также оперативная диагностика в течение вегетации для корректировки доз подкормок азотными удобрениями. В современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур экспресс-диагностика азотного питания позволяет в быстрые сроки установить дефицит азота у вегетирующих растений, тем самым появляется возможность управлять урожайностью и качеством растительной продукции. Наиболее перспективным направлением экспресс-диагностики является фотометрия [4, 5, 6]. Уже есть некоторые сведения об испытаниях N-тестера «Yara» (Konica Minolta, Япония) в российских условиях, но рекомендации по расчету доз азотных удобрений на конкретных культурах и сортах в конкретных почвенно-климатических условиях на основе его измерений может дать только региональный агроном компании-производителя [2,8,9]. На зарубежном и российском рынке существуют аналоги данного прибора (N-тестеры «Агротестер», Hydro), которые не имеют существенных отличий по внеш-

нему виду и принципу действия, однако рекомендации по расчету доз азотных удобрений по результатам измерений также производителями в открытом доступе не приводятся [1,3,14]. Новый прибор для диагностики уровня азотного питания на основе измерения интенсивности флуоресценции хлорофилла, светопроницаемости листовых пластинок и соотношения этих показателей «Спектролюкск» был разработан российской компанией, специализирующейся на разработке методик, технологий и оборудования на основе спектрометрии и флюоресценции в ООО «Научно-производственный центр медицинских и промышленных биотехнология Спектролюкс» [10, 12].

Цель исследований – обоснование эффективности применения фотометрических приборов отечественного производства для оперативной диагностики азотного питания культур звена полевого севооборота в условиях Московской области.

Исследования проводились на полевой опытной станции ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в 2012-2015 годах. Результаты агрохимического анализа почвы опытного участка показали, что она хорошо обеспечена подвижными формами фосфора – 361-483 мг/кг и калия – 126-133 мг/кг (ГОСТ 26207-91), повышенным содержанием легкогидролизуемого азота – 64-69 мг/кг (МУ, 1985), средним содержанием гумуса – 1,7-1,9% (ГОСТ 26213-91). Звено полевого севооборота состояло из ярового ячменя (сорт Михайловский), горчицы белой (сорт Рапсодия), яровой тритикале (сорт Тимирязевская 42), ярового ячменя (сорт ТСХА 4).

Методика. Схема опыта была специально разработана для изучения показаний фотометрических приборов на разных уровнях подкормок азотными удобрениями и была следующей: для ярового ячменя в 2012 году на четырёх вариантах вносились возрастающие дозы азотных удобрений (аммиачная селитра) от N_{30} до N_{150} кг д.в./га в фазу кущения, а также два варианта с дробными подкормками: N_{60} кг д.в/га в фазу кущения плюс N_{60} кг д.в/га в фазу выхода в трубку и N_{90} кг д.в./га в фазу кущения плюс N_{60} кг д.в./га в фазу

выхода в трубку. Для горчицы белой (2013 год), яровой тритикале (2014 год) и ярового ячменя (2015 год) также вносились возрастающие дозы удобрений от N_{30} до N_{150} кг д.в./га в фазу кущения, но дробные варианты внесения были N_{90} кг д.в./га в фазу кущения, а в фазу выхода в трубку N_{30} на одном варианте и N_{60} кг д.в./га на другом. Контроль на всех культурах – без внесения подкормок. Удобрения вносились вручную с равномерным распределением по поверхности делянки. Учетная площадь делянок 10 м^2, повторность четырехкратная, размещение вариантов во все годы проведения исследований – рандомезированное, агротехника, принятая для данной зоны. Для проведения диагностики азотного питания растений использовали фотометрические приборы зарубежного «Yara» (Konica Minolta, Япония) и отечественного производства «Спектролюкс» (ООО «НПО Спектролюкс», Россия). Учёты проводили в разные фазы развития растений, но не ранее чем через 14 дней после внесения последней подкормки азотными удобрениями. Для снятия показаний фотометрическими приборами брались чистые, не поврежденные, нормально развитые листья верхнего яруса. Одновременно с фотометрической диагностикой проводилась растительная (стеблевая, т.е. тканевая) диагностика по модифицированному методу В.В. Церлинг [13]. Статистическую обработку результатов полевого эксперимента проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа [7].

Результаты и их обсуждение. Корректировку доз внесения подкормок азотными удобрениями необходимо делать в ранние фазы развития растений. Так они в большей степени будут влиять рост и развитие сельскохозяйственных культур. В наших исследованиях измерения проводились в начальные фазы развития и для оценки эффекта от удобрений в середине вегетации. Однако на процессы роста и развития в значительной мере влияют и погодные условия. В 2012 г. повышенная температура воздуха в сочетании с высокими нормами осадков, превышающие среднемноголетние значения в два раза в первых декадах мая и июня, во второй декаде

июля, во второй и в третьей декаде августа привели к значительному полеганию посевов ячменя в опытных делянках с применением азотных удобрений, что сильно усложнило уборку и повлияло на урожайность, которая составила от 3,3 т/га (контроль) до 4,41 т/га (N60). Внесение азотных подкормок в дозах от 90 до 150 кг/га азота не оказало статистически значимого эффекта на урожайность ячменя из-за значительного полегания, достигающего на некоторых делянках 90%, которое началось во второй половине вегетационного периода.

Результаты стеблевой диагностики, полученные после внесения подкормок азотными удобрениями, показали, что растения в фазу выхода в трубку на делянках без подкормок или с небольшими дозами азота (N0, N30) нуждались в дополнительных подкормках в дозах до 60 кг/га. При внесении основных азотных удобрений в дозах от 60 до 90 кг/га требовалось внесение еще 30 кг/га и лишь на вариантах с дозами азота 120-150 кг/га дополнительная подкормка была нецелесообразна (табл.1). Данные экспресс-диагностики N-тестером «Яра» в эту же фазу показали достаточно сильную корреляцию с результатами стеблевой диагностики (R=0,70). Однако два дальнейших измерения, в фазу колошения и в фазу молочной спелости не выявило тесных взаимосвязей с урожайностью и с показаниями стеблевой диагностики. Показания фотометра «Спектролюкс» в фазу выхода в трубку и в фазу колошения сильно коррелировали с показаниями стеблевой диагностики (R=0,82 и R=0,76 соответственно) и с показаниями N-тестера «Яра» в эти же фазу (R=0,63 и R=0.70 соответственно), но слабо с урожайностью (R=0,30 и R=0,33 соответственно). Самые низкие показатели измерения соотношения интенсивности флуоресценции хлорофилла и светопроницаемости листовых пластинок были отмечены на вариантах без внесения азотных удобрений или с низкими доза азота до 60 кг/га.

Зима 2012-2013 г. была отмечена обильными и продолжительными снегопадами, продолжающимися в начале весны. В результа-

те полевые работы были начаты с сильным опозданием, и посев горчицы белой проводился 21 мая (оптимальные сроки конец апреля – начало мая), что сильно отразилось на дальнейшем росте горчицы. Она достаточно остро реагирует на изменение длины дня и зацветает в ранние сроки, что мешает применению пестицидных обработок. В целом, температура в период вегетации незначительно отличалась от среднемноголетних данных. Осадки в некоторые периоды (третья декада мая, вторая и третья июля) превышали среднемноголетние показатели в два раза. По данным за 2013 г., статистически достоверная прибавка урожайности была получена на всех вариантах, начиная с нормы в 60 кг/га, однако дальнейшее увеличение нормы азотных удобрений до 150 кг/га не принесло значительного успеха. Стеблевая диагностика, проведенная на ранних этапах развития культуры, показала, что горчица после внесения удобрений по схеме опыта, нуждалась в подкормках во всех вариантах, только в разных дозах. Корреляция показаний стеблевой диагностики с урожайностью составила в разные фазы – 0,71-0,77. Данные фотометрической диагностики N-тестером «Яра», полученные в те же фазы развития растения, имели тесную корреляцию с урожайностью (R=0,62-0,87) и еще более тесную со стеблевой диагностикой. В фазу бутонизации коэффициент корреляции составил 0,88, в фазу окончания цветения 0,93, в фазу формирования стручков 0,97. Показания отечественного фотометрического прибора «Спектролюкс» также имели достаточно тесную корреляцию с урожайность, баллами стеблевой диагностики и с показаниями N-тестера «Яра», однако они имели тенденцию с снижению при последнем измерении в фазу формирования стручков. Так, коэффициенты корреляции с N-тестером «Яра» в фазу бутонизации составил 0,83, в фазу окончания цветения 0,90, в фазу формирования стручков 0,71. Коэффициент корреляции со стеблевой диагностикой составил 0,92, 0,80 и 0,57 соответственно по фазам измерения.

Самым экстремальным по метеорологическим условиям за весь период проведения исследований был 2014 г. В первую декаду ию-

ня и первую декаду августа температура превышала среднемноголетние показатели на 6-7°С, а во вторую и третью декаду июня была на 3-4°С ниже среднемноголетних показателей. Такие перепады отрицательно сказались на прохождении практически всех фаз развития яровой тритикале и снизили положительное влияние подкормок на урожайность. Статистически достоверная прибавка урожайности была зафиксирована только в одном варианте опыта (N90+30). В результате недостатка влаги в середине мая, когда тритикале находилась в фазу кущения, растения сразу перешли в фазу выхода в трубку, сформировав только один стебель. Осадки в конце мая и июня, превышающие почти вдвое среднемноголетние показатели, повлияли на формирование дополнительного стебля (подгона), который затруднил выбор оптимального времени уборки. Тем не менее, результаты стеблевой диагностики показали такую же тенденцию, как и на остальных культурах звена полевого севооборота – дозы подкормок в 30-60 кг/га были слишком малы для удовлетворения растений в потребности азота на дерново-подзолистных почвах ЦРНЗ. Коэффициент корреляции урожайности с баллами стеблевой диагностики составил в фазу выхода в трубку – 0,57, в фазу колошения – 0,67 в фазу молочной спелости – 0,56. Корреляция показаний N-тестеров «Яра» и «Спетролюкс» с урожайностью и баллами стеблевой диагностики была самой низкой за весь период наблюдений.

В 2015 г. агрометеорологические условия вегетационного периода были наиболее благоприятными для роста и развития очередной культуры звена севооборота – ячменя. Температура воздуха по декадам была незначительно (на 1-3 градуса) выше, чем среднемноголетние показатели, и только во второй декаде июля она была на 2,6 градусов ниже среднемноголетних показателей. Большое количество осадков (до 50 мм за декаду) выпавшее в начале и в конце мая, позволило растениям без стрессов перенести их практически полное отсутствие (0,7 мм за декаду) в начале июня. Благодаря погодным условиям, сложившимся в течение вегетации, ячмень смог

реализовать свою потенциальную продуктивность и сформировать высокую урожайность, однако из-за обильных осадков в июне и июле наблюдалось полегание (до 70% посевов) на всех вариантах, кроме «Контроля», которое затруднило уборку. Результаты стеблевой диагностики не показали достаточно тесных взаимосвязей с урожайностью. Однако за весь период наблюдений, это был единственный случай, когда растения нуждались в азотных удобрениях от 30 до 60 кг/га на всех вариантах опыта. При проведении дальнейших исследований в фазу формирования зерна нуждаемость в подкормках только усиливалась. Результаты фотометрической диагностики N-тестером «Яра», полученные в фазах выхода в трубку и формирования зерна показали среднюю корреляционную зависимость с урожайностью – 0,59-0,66, однако достаточно сильную со стеблевой диагностикой – 0,85-0,81 соответственно. В целом показания N-тестера «Яра» были на 10-15% выше показаний, снятых в эти же фазы на ячмене в 2012 году, что возможно говорит о более благоприятных условиях роста и развития, сложившихся в 2015 году. N-тестер «Спетролюкс» показал примерно такие же закономерности при проведении фотометрической диагностик в начальные фазы развития и середине вегетации, что и N-тестер «Яра». Коэффициент корреляции с урожайностью в фазу выхода в трубку составил – 0,54, со стеблевой диагностикой – 0,75, с зарубежным фотометром – 0,67.

Заключение. Таким образом, полевые фотометрические эксперименты, проведенные в разных метеорологических условиях на культурах звена полевого севооборота, показали перспективность использования N-тестеров для оперативной диагностики состояния посевов. Считаем целесообразным проведение дальнейших исследований по фотометрической диагностике азотного питания растений и разработку соответствующих рекомендаций для конкретных почвенно-климатических условий.

Литература

1. N-тестер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://n-tester.ru/, свободный – (15.09.2021).

2. O. Shchuklina, N.N. Langaeva, I. Voronchikhina, V.V. Voronchikhin, R. Afanasiev Application of photometry for crops online diagnostics of the nitrogen nutrition of plants / Agronomy Research. 2021. 19(2), P. 595–600, doi.org/10.15159/AR.21.093.

3. Афанасьев Р.А. Физические методы растительной диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур // Докл. ТСХА. – 2007. – Вып. 279. - Ч. 1. – С. 350-353.

4. Афанасьев Р.А., Белоусова К.В., Литвинский В.А., Пугачев П.М., Мочкова Т.В., Щуклина О.А. Фотометрическая диагностика азотного питания ярового рапса и озимой тритикале в условиях Центрального Нечерноземья // Плодородие. – 2012. – №4(67). – С. 51-52.

5. Белоусова К.А., Афанасьев Р.А., Березовский Е.В. Фотометрическая экспресс-диагностика азотного питания растений // Агрохимия. – 2015. -№7. – С. 78-87.

6. Белоусова К.В., Смирнов М.О., Носиков В.В., Литвинский В.А., Щуклина О.А. Влияние форм азотных удобрений на содержание пигментов при разных спектрах облучения растений в условиях фитотрона / Плодородие. 2012. №5 (68). С. 5-6.

7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1976. – 416 с.

8. Компания Yara [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.yara.ru/, свободный – (20.09.2021).

9. Методика фотометрической диагностики азотного питания зерновых и других культур / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2010. – 32 с.

10. ООО «НПЦ Спектролюкс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://spectrolux.narod.ru/, свободный – (10.10.2021).

11. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.: АН СССР, 1945. – 175 с.

12. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Березовский Е.В., Щуклина О.А., Ермолов И.Л. Роботизация агротехнологий возделываний сельскохозяйственных

13. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справ-к. М.: Агропромиздат, 1990. – 236 с.

14. Щуклина О.А. Афанасьев Р.А., Лангаева Н.Н., Завгородний С.В. Эффективность дифференцированного применения удобрений в качестве корневых подкормок на основе NDVI / Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т 35, № 8. С.20-24.

15. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В., Асаров Х.К., Демин В.А., Решетникова Н.В. Агрохимия М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 655 с.

APPLICATION OF PHOTOMETRY FOR OPERATIONAL DIAGNOSIS OF NITROGEN NUTRITION OF AGRICULTURAL CROPS

***Shchuklina O.A.* [1], *Afanasiev R.A.* [2]**

[1]FGBUN Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsina, Moscow
[2]FGBNU All-Russian Research Institute of Agrochemistry
named after D.N. Pryanishnikova, Moscow
oashuklina@gmail.com, rafail-afanasev@mail.ru

Annotation. The effectiveness of the use of portable photometric N-testers of domestic and foreign production "Spectrolux" and "Yara" for operational diagnostics of nitrogen nutrition of agricultural crops is considered. The results of a field experiment conducted in 2012-2015 in the conditions of the Central district of the Non-Chernozem zone on spring grain crops (barley, triticale) and white mustard showed the effectiveness of operational diagnostics of the provision of crops with nitrogen nutrition. The soil of the experimental site is sod-podzolic, medium loamy, well provided with phosphorus, medium potassium, has a low humus content (1.7-1.9%). To test the devices, cultures were fed in the early stages of development with ammonium nitrate in increments of 30. Meteorological conditions during the years of the experiment were different. The photometric diagnostic data obtained in the initial phases of crop development (exit into the tube on barley and triticale, budding on mustard) had a strong correlation with the crop yield of the field crop rotation link and the points of stem diagnostics carried out in parallel with photometry.

Keywords: mineral fertilizers, nitrogen nutrition, photometric diagnostics, crop yield, fertilizing, ammonia nitrate, N-tester.

УДК: 631.84:631.416.2

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА

Х.С. Юмашев, к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник
И.А.Захарова, к.б.н., ведущий научный сотрудник
ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» chniisx2@ mail.ru
456404 ул. Чайковского д.14 п. Тимирязевский Чебаркульского р-на,
Челябинской области т/ф 8 (351-68)-71-4-88, 8 9097456067

Аннотация. В статье представлены результаты научных исследований по влиянию длительного применения азотно-фосфорных удобрений на плодородие выщелоченного чернозёма. За 25 лет прямого действия удобрений в севообороте в почву поступило 700 (P_1), 1400 (P_2) и 2100 (P_3) кг P_2O_5 на гектар севооборотной площади. В результате этого содержание подвижного фосфора на неудобренных фонах в начале опыта возросло с 67 мг/кг до 200 мг/кг на фоне максимальной дозы фосфорных удобрений (P_3). За последующие 25 лет проведения исследований в результате выноса элементов питания урожаями культур содержание в почве фосфора и калия заметно снизилось. Кислотность почвенного раствора возросла, что носит глобальный характер и не зависит от удобрений.

Установлена разная отзывчивость культур севооборота на последействие как фосфорных, так и азотных удобрений.

Ключевые слова: зернопаротравяной севооборот; озимая рожь; яровая пшеница; ячмень; удобрения; азот; фосфор; подвижный фосфор; обменный калий; белок; клейковина; кислотность.

Введение. Величина валовых сборов зерновых и кормовых культур неразрывно связана с увеличением объемов применения минеральных и органических удобрений. В связи с этим, на заре индустриализации страны, с развитием коллективных форм собст-

венности перед исследователями встали вопросы эффективного использования агрохимических средств, применительно к различным регионам страны. Начиная с 40-х годов прошлого столетия, в СССР начали разворачиваться научно-исследовательские работы при МТС и совхозах, что послужило основой создания Географической сети опытов с удобрениями. Основанием проведения этих опытов стало выступление Д.Н. Прянишникова в Госплане СССР с докладом о химизации земледелия, широком применении удобрений (1941 г.).

Обоснование и методика проведения исследований

Агрохимические исследования в Челябинском НИИСХ начали проводиться в 40 годах прошлого столетия. На первом этапе исследования носили фрагментарный, рекогносцировочный характер в краткосрочных опытах, где эффективность удобрений оценивалась в основном по полученным прибавкам урожая, без увязки с плодородием почвы, погодными условиями и др. существенными факторами, влияющими на урожайность полевых культур.

В этот период было проведено множество полевых, вегетационных и вегетационно-полевых опытов, в которых, наряду с изучением эффективности минеральных удобрений, проводились исследования с органическими, органоминеральными и бактериальными формами удобрений.

На первый план выдвигалась задача установления состава и рациональных доз удобрений под ведущие зерновые культуры, а также эффективности основных элементов питания применительно к зональным особенностям региона.

Однако в краткосрочных опытах в недостаточной мере учитывались факторы взаимодействия элементов питания и их запасы в почве, а также взаимное влияние полевых культур и элементов питания при возделывании их в севооборотах. Ответ на эти вопросы могли дать только длительные стационары, где более полно характеризуется все многообразие почвенно-климатических условий выращивания полевых культур. С этой целью в 1972 году под руково-

дством заслуженного агронома РФ Кушниренко Ю.Д. заложен длительный стационарный опыт по изучению влияния доз и соотношений удобрений при их систематическом внесении на продуктивность плодосменного севооборота и монокультур, который впоследствии был включен в реестр длительных опытов Геосети РФ. В 1993 году в данном стационаре произошла реконструкция, плодосменный севооборот был преобразован в зернопаротравяной севооборот.

Схема стационарного опыта включает четыре уровня азота и четыре уровня фосфора. На вариантах со средними нормами азота и фосфора дополнительно вносится калий. Пространственная реализация схемы осуществляется в двух блоках с равной суммой эффектов в обоих блоках по принципу ортогональности.

Систематическое внесение минеральных удобрений сопровождается изменением всех показателей плодородия почв, в том числе и их физико-химических свойств. Физико-химические свойства почвы оказывают влияние не только непосредственно на рост и развитие растений, но и на превращение в почве удобрений (2-5).

За 25 лет систематического внесения фосфорных удобрений в выщелоченном черноземе было внесено около 1000-3000 кг/га д.в. фосфора. В результате этого в почве произошли значительные изменения в обеспеченности ее подвижным фосфором. При внесении 1000 кг/га удобрения содержание доступного растениям фосфора возросло до 155 мг/кг почвы, при внесении 3000 кг/га – до 218 мг/кг. При этом затраты фосфора на повышение содержания подвижного фосфора на 1 мг/кг составляли 11,4-28,6 кг/га. На фоне азотного удобрения затраты фосфорного удобрения на повышение содержания подвижного фосфора возрастали, что связано с большим выносом данного элемента питания из-за более высокого уровня урожайности в этих вариантах (табл.1). Аналогичные результаты по изменению фосфатного режима почв при применении удобрений получили в своих исследованиях Соколов А.В., Чумаченко И.Н. и др. (9,11,12).

В чернозёмных почвах с нестабильным водным режимом и ограниченным промачиванием подкисление под влиянием удобрений достигает значительных размеров, но наблюдается только в верхних (пахотном и подпахотном) слоях почвы (10).

1. Изменение содержания подвижного фосфора при длительном применении фосфорных удобрений в плодосменном севообороте

Вариант	Доза удобрения, кг/га д.в			Внесено фосфора, кг/га	Содержание P_2O_5, мг/кг		Затраты фосфорных удобрений на повышение содержания P_2O_5 на 1 мг/кг почвы, кг
	азота	фосфора	калия		исходное	на 25 год ежегодного внесения фосфорных удобрений	
0	-	-	-	-	67	76	-
N_1	20	-	-	-	67	83	-
N_2	40	-	-	-	67	59	-
N_3	60	-	-	-	67	66	-
P_1	-	40	-	1000	67	155	11,4
P_2	-	80	-	2000	67	137	28,6
P_3	-	120	-	3000	67	218	19,9
N_1P_1	20	40	-	1000	67	142	13,3
N_2P_2	40	80	-	2000	67	110	46,5
N_3P_3	60	120	-	3000	67	204	21,9

Результатами исследований, проведенных в Челябинском НИИСХ на выщелоченном чернозёме, выявлено, что за полувековой период кислотность почвенного раствора сместилась в более кислую сторону, причем применение азотно-фосфорных удобрений не оказывало влияния на реакцию почвенного раствора. При этом гидролитическая кислотность возросла в 1,9-3,4 раза; обменная кислотность почвы за этот же период исследований возросла на 12-13 % (табл. 2). Полученные данные можно объяснить техногенными

факторами, в частности выбросами загрязняющих веществ от промышленных предприятий и кислотными дождями (13).

За 50 лет с момента закладки стационара содержание подвижного фосфора на контрольном варианте не изменилось, в то время как в вариантах с азотными удобрениями оно снизилось за счет большего выноса урожаем культур севооборота: уровень снижения составил 4,2-9,5 мг/кг почвы. К 25 году исследований на фоне фосфорных удобрений содержание фосфора возрастало на 70-151 мг/кг в зависимости от дозы удобрения. После прекращения внесения удобрений за последующие 25 лет содержание подвижного фосфора на вариантах с малыми и средними дозами фосфора снизилось до уровня исходного содержания. Только на фоне высокой дозы фосфора обеспеченность почвы фосфором оценивается как повышенное (табл. 2).

2. Изменение агрохимических свойств выщелоченного чернозёма при длительном применении минеральных удобрений в севообороте

Вариант	Доза удобрения, кг/га д.в.		Показатель							
			Исходное (1971 г.)				2021 г.			
	азота	фосфора	pH_{KCL}	Нг., мг-экв/100 г.	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/100г	pH_{KCL}	Нг, мг-экв./100 г.	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/100г
0	-	-	6,15	1,9	67	10,9	5,43	4,56	63,5	9,2
N_1	25	-	6,15	1,9	67	10,9	5,44	4,41	62,8	8,6
N_2	50	-	6,15	1,9	67	10,9	5,43	4,36	57,5	8,6
N_3	75	-	6,15	1,9	67	10,9	5,42	6,24	58,1	7,0
P_1	-	20	6,15	1,9	67	10,9	5,38	4,02	62,5	9,8
P_2	-	41	6,15	1,9	67	10,9	5,42	3,65	57,1	9,2
P_3	-	61	6,15	1,9	67	10,9	5,42	4,31	132,5	7,8
N_1P_1	25	20	6,15	1,9	67	10,9	5,39	4,13	107,9	7,8
N_2P_2	50	41	6,15	1,9	67	10,9	5,41	5,81	69,6	7,2
N_3P_3	75	61	6,15	1,9	67	10,9	5,36	5,13	101,7	7,3

Длительный, не восполняемый вынос калия за 50 лет проведения исследований в стационарном опыте привел к снижению содержания обменного калия в почве: на контрольном варианте на 16%; в вариантах с односторонним азотным питанием на 21-36%; в вариантах с фосфорными удобрениями на 10-28 %; при азотно-фосфорном питании на 28-34% (табл.2). При этом обеспеченность почвы обменным калием согласно шкалы Чирикова снизилась до средней.

С 1997 года в данном стационарном опыте изучается последействие ранее применявшихся фосфорных удобрений. За 25 лет последействия фосфорных удобрений установлено, что эффект последействия возрастает в сухие годы, а в увлажненные, наоборот, снижается. Это довольно четко видно на рисунке: наивысшие точки кривой дополнительного выхода з.е. в севообороте соответствуют годам разной степени засушливости: 1998 год с ГТК вегетационного периода 0,7; 2004 – 0,8; 2012 – 0,6, 2016 – 1,2, 2020 – 1,0 и 2021 – 0,8; при этом дополнительный выход з.е. с гектара севооборотной площади превышал 15%, в то время как наименьшие точки кривой соответствуют годам с умеренно влажными и переувлажненными условиями.

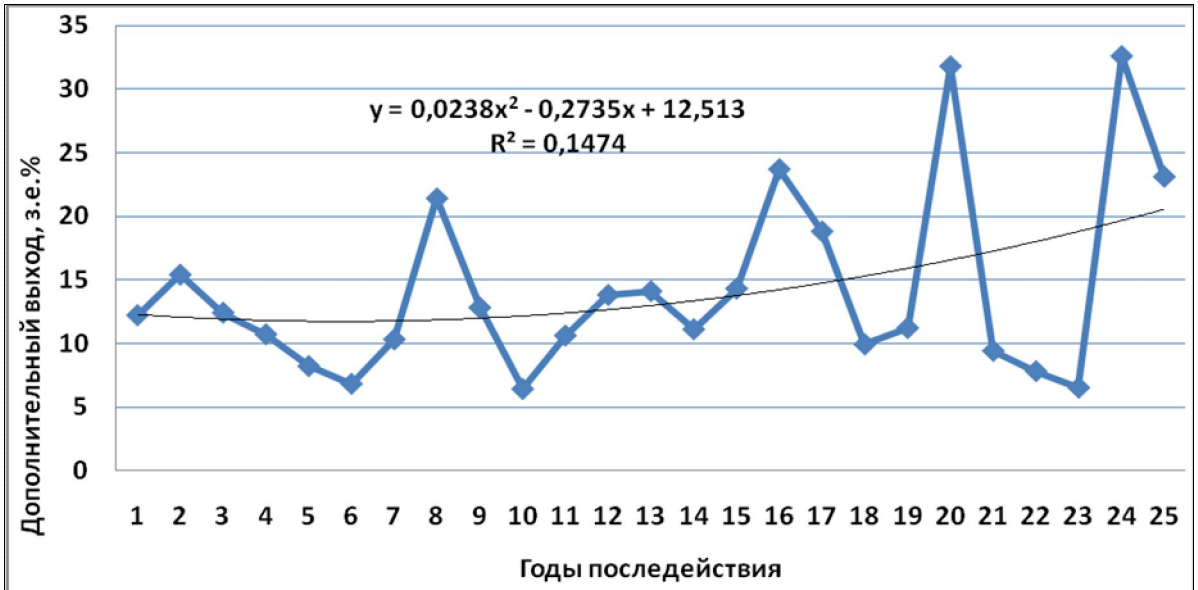

Рис. Последействие ранее внесенных фосфорных удобрений в зернопаротравяном севообороте за 1997-2021 гг.

По мнению ряда авторов, большое значение для повышения отдачи от удобрений имеет соотношение между азотом и другими элементами питания и, в первую очередь, между азотом и фосфором (6-8).

Оценка продуктивности культур в зернопаротравяном севообороте приводится по озимой ржи, гороху, яровой пшенице и ячменю, которые обеспечивают основную долю продукции в этом севообороте.

Озимая рожь в севообороте хорошо отзывалась на последействие остаточного фосфора. С повышением обеспеченности почвы подвижным фосфором дополнительный выход зерна в севообороте повышался, при содержании фосфора на уровне 120 мг/кг почвы он составил 0,51 т/га (табл. 5).

5. Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в посевах озимой ржи (в среднем за 2002-2021 г.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в 0-30 см слое почвы)					
	(60 мг/кг)		(80 мг/кг)		(120 мг/кг)	
	урожай т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота кг зерна
N_0	3,01	-	3,30 (0,29)	-	3,52 (0,51)	-
N_{30}	3,27 / 0,26	8,7	3,84 / 0,54	18,0	3,84 / 0,34	10,7
N_{60}	3,06 / 0,05	0,8	3,76 / 0,46	7,7	3,88 / 0,36	6,0
N_{90}	3,27 / 0,26	2,9	3,82 / 0,52	5,8	3,93 / 0,41	4,6
Среднее	3,15 / 0,14	2,3	3,76 / 0,46	7,7	3,87 / 0,35	5,8
$НСР_{0,5}$	0,13					

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

Прибавка урожая зерна при внесении азотного удобрения при содержании в почве подвижного фосфора на уровне 60 мг/кг почвы составляла 0,05-0,26 т/га в зависимости от дозы удобрения; при этом окупаемость единицы азота составила всего 0,8-8,7 кг зерна. При повышении содержания в почве подвижного фосфора до 80 мг/кг прибавка урожая возросла вдвое и составляла 0,46-0,54 т/га с окупаемость соответственно 7,7-18,0 кг зерна на единицу азотного удобрения.

Дальнейшее повышение содержания в почве доступного растениям P_2O_5 до 120 мг/кг почвы приводило к снижению прибавки урожая и окупаемости единицы удобрения (табл. 5).

В севообороте после озимой ржи возделываются бобовые культуры, в частности горох, который хорошо отзывался на последействие фосфорных удобрений. Дополнительный выход з.е. составлял от 9 до 12% в зависимости от уровня содержания в почве доступных фосфатов (табл. 6).

6. Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в посевах гороха (в среднем за 2002-2021 г.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в 0-30 см слое почвы)					
	(60 мг/кг)		(80 мг/кг)		(120 мг/кг)	
	урожай т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота кг зерна
N_0	1,18	-	1,32 (0,14)	-	1,29 (0,11)	-
N_{20}	1,33 0,15	7,5	1,38 0,06	3,0	1,34 0,05	2,5
N_{40}	1,24 0,06	1,5	1,36 0,04	1,0	1,40 0,11	2,8
N_{60}	1,28 0,10	1,7	1,45 0,13	2,2	1,42 0,13	2,2
Среднее	1,26 0,08	2,0	1,40 0,08	2,0	1,39 0,10	2,5
$НСР_{0,5}$	0,01					

Примечание: над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

При средней обеспеченности почвы подвижным фосфором горох отзывается на малые дозы азотного удобрения. При содержании фосфора в почве на уровне 60 мг/кг дополнительный выход з.е. за счет азотного удобрения в дозе 20 кг/га д.в. составил 0,15 т/га, при этом окупаемость единицы азотного удобрения достигла 7,5 кг на единицу азотного удобрения. Повышение содержания подвижного фосфора в почве до 80-120 мг/кг приводило к существенному снижению прибавки урожая зерна, при этом соответственно снижалась и окупаемость единицы азотного удобрения (табл.6).

Яровая пшеница в исследуемом севообороте возделывалась после гороха и, также как озимая рожь, отзывалась на последействие фосфорных удобрений, при этом дополнительный выход з.е. составил 0,18-0,38 т/га.

В отличие от озимой ржи, яровая пшеница хорошо отзывалась на внесение азотного удобрения, при этом прибавка урожая зерна от азота даже на фоне средней обеспеченности почвы фосфором составляла 0,31-0,36 т/га. Наибольшая прибавка урожая з.е. получена при внесении 30 кг/га д.в. азотного удобрения, она составила 0,36 т/га, на остальных вариантах урожай зерна в з.е. был достоверно ниже. При повышении содержания в почве подвижного фосфора до 80 мг/кг почвы прибавка урожая зерна возрастала до 0,45-0,51 т/га. На этом же фоне получена максимальная окупаемость единицы азотного удобрения, которая составила 15 кг зерна. На фоне повышенной обеспеченности почвы подвижным фосфором прибавки урожая зерна достоверно снижались, и окупаемость единицы азота удобрения снижалась в 1,5-2,6 раза (табл. 7)

Замыкающей культурой в зернопаротравяном севообороте является яровой ячмень, который, в отличие от озимой ржи и яровой пшеницы, слабо отзывается на последействие ранее внесенных

фосфорных удобрений. Прибавка урожая от последействия остаточного фосфора здесь составила 5,2-8,6%.

7. Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в посевах яровой пшеницы (в среднем за 2002-2021 гг.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в 0-30 см слое почвы)					
	(60 мг/кг)		(80 мг/кг)		(120 мг/кг)	
	урожай т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота кг зерна
N_0	2,22	-	2,40 (0,18)	-	2,60 (0,38)	-
N_{30}	2,58 0,36	12,0	2,85 0,45	15,0	2,77 0,17	5,7
N_{60}	2,53 0,31	5,2	2,72 0,32	5,3	2,90 0,30	5,0
N_{90}	2,58 0,36	4,0	2,91 0,51	5,7	2,94 0,34	3,8
Среднее	2,57 0,35	5,8	2,83 0,43	7,2	2,87 0,27	4,5
$НСР_{0,5}$	0,01					

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

Однако урожайность ячменя в сильной степени зависела от обеспеченности растений азотом.

Ячмень даже на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором отзывается на азотное удобрение, прибавка урожая в этом случае достигает 0,79 т/га, а наибольшая окупаемость единицы азотного удобрения была при внесении 40 кг/га д.в. азота, она составила 13,5-14,5 кг зерна.

На фоне повышенной обеспеченности почвы фосфором прибавки урожая возрастали до 0,55-0,85 т/га, окупаемость единицы

азота достигла 15,0 кг при внесении азотного удобрения в дозе 40 кг/га д.в., с увеличением дозы азота окупаемость закономерно снижалась (табл. 8).

8. Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в посевах ячменя (в среднем за 2002-2021 гг.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в 0-30 см слое почвы)					
	(60 мг/кг)		(80 мг/кг)		(120 мг/кг)	
	урожай т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота кг зерна
N_0	2,10	-	2,21 (0,11)	-	2,28 (0,18)	-
N_{40}	2,64 0,54	13,5	2,79 0,58	14,5	2,88 0,60	15,0
N_{80}	2,54 0,44	5,5	2,88 0,67	8,4	3,13 0,85	10,6
N_{120}	2,70 0,60	5,0	3,00 0,79	6,6	2,83 0,55	4,6
Среднее	2,63 0,53	6,6	2,89 0,68	8,5	2,95 0,67	8,4
$НСР_{0,5}$	0,11					

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

Если оценивать эффективность азотного удобрения в целом по севообороту, от последействия остаточного фосфора удобрений прибавка составляла 8,6-13,6%.

Азотные удобрения повысили продуктивность севооборота до 0,54 т/га з.е. на фоне средней обеспеченности почвы фосфором. При повышении уровня обеспеченности почвы фосфором до повышенного продуктивность севооборота не изменялась, оставаясь на уровне средней (табл. 9).

9. Эффективность применения азотных удобрений на разных фонах обеспеченности почвы P_2O_5 в зернопаротравяном севообороте (в среднем за 2002-2021 гг.)

Внесено азота, кг/га	Уровень фосфорного питания (среднее содержание в 0-30 см слое почвы)					
	(60 мг/кг)		(80 мг/кг)		(120 мг/кг)	
	урожай т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота, кг зерна	урожай, т/га	на 1 кг азота кг зерна
N_0	1,98	-	2,15 (0,17)	-	2,25 (0,27)	-
N_{25}	2,33 0,35	14,0	2,55 0,40	16,0	2,53 0,28	11,2
N_{50}	2,23 0,25	5,0	2,49 0,34	6,8	2,66 0,41	8,2
N_{75}	2,35 0,37	4,9	2,69 0,54	7,2	2,67 0,42	5,6
Среднее	2,30 0,32	6,4	2,58 0,43	8,6	2,62 0,37	7,4

Примечание. Над чертой – урожай зерна, т/га; под чертой – дополнительный выход зерна за счёт азота, т/га; в скобках – дополнительный выход зерна за счёт содержания P_2O_5 в почве.

Наибольшая окупаемость единицы азотного удобрения была при минимальной дозе азота (25 кг/га д.в.) и составляла при средней обеспеченности почвы подвижным фосфором 14-16 кг з.е., на фоне повышенной обеспеченности почвы фосфором окупаемость снижалась до 11,2 кг.

С повышением дозы азотного удобрения окупаемость снижалась в 2,9, 2,4 и 2 раза. В среднем по севообороту окупаемость азота при средней обеспеченности почвы фосфором составила 6,4-8,6 кг, при повышенной обеспеченности – 7,4 кг з.е. на килограмм азота (табл. 9).

Качество зерна яровой пшеницы и ячменя зависело главным образом от азотного удобрения: при минимальной дозе содержание белка и клейковины было на уровне контрольного варианта. При

двойной и тройной дозах азота содержание белка в зерне яровой пшеницы выросло с 14,4 до 16,7-17,4%, клейковины с 27,6 до 31,2-36,4%. Фосфор почвы не повлиял на показатели качества зерна яровой пшеницы. Содержание белка в зерне ячменя выросло под действием азотного удобрения: при внесении 120 кг/га д.в. азотного удобрения содержание белка возросло до 14,9 % (табл. 10).

10. Влияние азота удобрения и фосфора почвы на показатели качества зерна зерновых культур

Вариант	Доза азота, кг/га д.в.	Содержание в почве P_2O_5, мг/кг	Яровая пшеница		Ячмень
			белок, %	клейковина, %	белок, %
0	-	60	14,4	27,6	11,9
N_1	30 (40)	60	14,6	26,8	13,2
N_2	60 (80)	60	16,7	31,2	13,8
N_3	90 (120)	60	17,4	36,4	14,9
P_1	-	80	14,8	24,9	12,1
P_2	-	60	15,4	26,2	11,5
P_3	-	120	14,2	26,8	13,1
N_1P_1	30 (40)	80	13,6	29,0	12,8
N_2P_2	60 (80)	60	15,3	32,0	15,1
N_3P_3	90 (120)	120	16,8	33,3	14,8

Примечание. В скобках доза азотного удобрения на ячмене.

Выводы

Таким образом, длительное внесение азотно-фосфорных удобрений приводит к изменению плодородия почвы:

- фосфорные удобрения способствуют увеличению в почве содержания подвижного фосфора;

- не восполняемый вынос калия приводит к снижению его запасов в почве, как на контрольном варианте, так и в вариантах с азотным и азотно-фосфорным питанием;

- установлена разная отзывчивость культур севооборота на последействие удобрений: наиболее отзывчивы на последействие

фосфорных удобрений озимая рожь и яровая пшеница, наименее отзывчивы ячмень и горох;

- озимая рожь при средней обеспеченности почвы подвижным фосфором менее отзывчива на азотное удобрение, в то время как яровая пшеница и ячмень, наоборот, заметно повышают урожай зерна;

- при повышенной обеспеченности почвы фосфором азотные удобрения позволяют повысить урожайность зерна озимой ржи на 10-12%, яровой пшеницы – 6,5-13,0% и ячменя – 24-37%;

- азотное удобрение повышает показатели качества зерна, в частности содержание белка и клейковины в яровой пшенице и белка в ячмене.

Литература

1. Д.Н.Прянишников. Изб. Соч. Том 1 Агрохимия М. 1952. 692 с.

2. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. – М.: КолосС, 2010. – 687 с.

3. Агробиологический цикл фосфора. А.Л. Иванов и др. М.: Россельхозиздат, 20102. – 512 с.

4. Г.П.Гамзиков //Агрохимия азота Сибирских почв при длительном применении удобрений/ Материалы Всероссийской конференции учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями 26-27 июня 2012 года «Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями» Под редакцией академика РАСХН В.Г.Сычева – М: ВНИИА, 2012. С. 7-10.

5. А.Х.Шейджен, Л.М.Онищенко, Ю.А.Исупова //Агрохимические свойства чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений/ Материалы Всероссийской конференции учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями 26-27 июня 2012 года «Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями» Под редакцией академика РАСХН В.Г.Сычева – М: ВНИИА, 2012. С. 10-13.

6. В.А.Прошкин //Современные модели прогноза эффективности минеральных удобрений по агрохимическим свойствам почвы/ Материалы Всероссийской конференции учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями 26-27 июня 2012 года «Состояние и пути повышения эффективности исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями» Под редакцией академика РАСХН В.Г.Сычева – М: ВНИИА, 2012 С. 117-120.

7. А.И. Осипов, О.А. Соколов. Роль азота в плодородии почв и питании растений. – С-Петербург.: 2001. – 356 с.

8. П.А. Постников, В.В. Попова Воздействие предшественников и удобрений на урожай зерновых культур в севооборотах. Ж.Вестник ЧГАА № 70., 2014.: Челябинск С. 214-218.

9. А.В. Ваулин, А.А. Коваленко, В.А. Варламов. Изменение фосфатного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при внесении высоких доз фосфорных удобрений //Агрохимический вестник. 2010. – №6. – С. 10-12.

10. Труды ВИУА. Плодородие почв и эффективность удобрений, М.: 1986. 152 с.

11. А.В.Соколов Агрохимия фосфора. Изд-во академии наук СССР, М. :1950. – 152 с.

12. И.Н. Чумаченко. Фосфор в жизни растений и плодородии почв.

13. Ю.Д.Кушниренко// К вопросу о трансформации физико-химических свойств зональных почв Южного Урала/Производство зерна и кормов в агроландшафтном земледелии: агрохимические, экономические и экологические аспекты.Сб./Сост. Ю.Д.Кушниренко. – Миасс: Геотур, 1999 – С 59-80.

UDC: 631.84: 631.416.2

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON LEACHED CHERNOZEM FERTILITY AND PRODUCTIVITY CROP ROTATION CROPS

Yumashev H.S., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher,
Zakharova I.A., Ph.D., Leading Researcher
FSBSI "Chelyabinsk Research Institute of Agriculture"

Annotation. The article presents the results of scientific research on the effect of long-term use of nitrogen-phosphorus fertilizers on the fertility of leached chernozem. Over 25 years of direct action of fertilizers in the crop rotation, 700 (P1), 1400 (P2) and 2100 (P3) kg of P2O5 have been supplied to the soil per hectare of the crop rotation area. As a result, the content of mobile phosphorus on unfertilized backgrounds at the beginning of the experiment increased from 67 mg / kg to 200 mg/kg against the background of the maximum dose of phosphorus fertilizers (P3). Over the next 25 years of research, as a result of the removal of nutrients by crops, the content of phosphorus and potassium in the soil has significantly decreased. The acidity of the soil solution has increased, which is global in nature and does not depend on fertilizers. Different responsiveness of crop rotation crops to the aftereffect of both phosphorus and nitrogen fertilizers was established.

Key words: grain-steam-herbal crop rotation; winter rye; spring wheat; barley; fertilizers; nitrogen; phosphorus; mobile phosphorus; exchangeable potassium; protein; gluten; acidity.

Алфавитный указатель авторов

ФИО	стр.
Абрамов Н.В.,	3
Афанасьев Р.А.	227
Аширбеков М.Ж.	13
Башков А.С.	52
Бейс Э.	28
Боинчан Б.П.	33
Бортник Т.Ю.	52
Васбиева М.Т.	81
Волкова Е.С.	157
Воробьев Н.И.	62
Воронкин Е.В.	117
Гамзиков Г.П.	70
Горохова Ж.Ю.	193
Дубков А.А.	181
Дятлова М.В.	157
Емец М.В.	193
Завьялова Н.Е.	81
Запивалов С.А.	172
Захарова И.А.	237
Иванов А.И.	94
Иванова Ж.А.	94
Каримов Р.Р.	148
Карпова А.Ю.	52
Клыков А.Г.	181
Кушаева Е.Ж.	181
Ладан С.С.	62
Лукин С.М.	107
Макаров В.И.	52
Мантинг М.	25
Маркарова М.Ю.	117
Марчук Л.Е.	181
Надежкин С.М.	117
Окорков В.В.	131
Пищик В.Н.	62
Привалова К.Н.	148
Пухальский Я.В.	62
Родионова А.В.	172
Рухович О.В.	219
Рысев М.Н.	157
Солнцев П.И.	193
Стадник С.С.	33
Тебердиев Д.М.	172
Тимофеева Я.О.	181
Тимошинов Р.В.	181
Тютюнов С.И.	193
Уфимцев А.Е.	3
Хорошилова Ю.В.	193
Чикишев Д.В.	3
Чухина О.В.	205
Шарая Л.С.	219
Шарый П.А.	219
Шкуркин С.И.	219
Щанникова М.А.	172
Щуклина О.А.	227
Юмашев Х.С.	237

СОДЕРЖАНИЕ

Абрамов Н.В., Чикишев Д.В., Уфимцев А.Е. Оптимизация минерального питания яровой пшеницы при дифференцированном внесении удобрений в режиме off-line 3

Аширбеков М.Ж. Плодородие серозёмов Казахстанской Голодной степи и продуктивность хлопчатника под влиянием длительного применения удобрений на бессменном посеве и в севообороте 13

Бейс Э., Мантинг М. Пестициды в сельском хозяйстве и их экологическое воздействие 28

Боинчан Б.П., Стадник С.С. Продуктивность и плодородие черноземных почв Молдовы при длительном применении удобрений 33

Бортник Т.Ю., Макаров В.И., Карпова А.Ю., Башков А.С. Продуктивность картофеля при длительном применении систем удобрения в Среднем Предуралье 52

Воробьев Н.И., Ладан С.С., Пухальский Я.В., Пищик В.Н. Классификация агрохимических характеристик почв России с помощью нейронных сетевых структур искусственного интеллекта 62

Гамзиков Г.П. Краткий реестр сибирских опытов Геосети с удобрениями 70

Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т. Трансформация режимов органического вещества и элементов питания дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении минеральных удобрений 81

Иванов А.И., Иванова Ж.А. Актуальные вопросы низкоуглеродного развития земледелия Нечерноземья и его адаптации к глобальным климатическим изменениям 94

Лукин С.М. Длительные стационарные полевые опыты с органическими удобрениями: значение, результаты и перспективы исследований на дерново-подзолистых почвах 107

Надежкин С.М., Маркарова М.Ю., Воронкин Е.В. Эффективность длительного применения удобрений на черноземе выщелоченном в 14- и 15-й ротациях овощного севооборота 117

Окорков В.В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборотов и изменение плодородия серых лесных почв Верхневолжья 131

Привалова К.Н., Каримов Р.Р. Изменение продуктивности культурных пастбищ и плодородия почвы под влиянием долголетнего (75 лет) применения удобрений 148

Рысев М.Н., Волкова Е.С., Дятлова М.В. Влияние агрохимических средств на изменение баланса элементов питания в севообороте со льном-долгунцом 157

Тебердиев Д.М., Родионова А.В., Запивалов С.А., Щанникова М.А. Изменение продуктивности сенокосных агрофитоценозов при длительном применении удобрений 172

Тимошинов Р.В., Кушаева Е.Ж., Дубков А.А., Марчук Л.Е., Клыков А.Г., Тимофеева Я.О. Результаты сверхдлительного стационарного опыта с различными системами удобрения в условиях Приморского края 181

Тютюнов С.И., Солнцев П.И., Хорошилова Ю.В., Емец М.В., Горохова Ж.Ю. Влияние интенсификации элементов технологии возделывания на урожайность культур в зернопаропропашном севообороте 193

Чухина О.В. Продуктивность однолетних кормовых культур, озимой ржи, картофеля, ячменя и плодородие дерново-подзолистой почвы при применении удобрений в длительном опыте 205

Шарый П.А., Шарая Л.С., Рухович О.В., Шкуркин С.И. Изучение совместного влияния климата, почв и рельефа на характеристики урожайности ярового ячменя на основе баз данных результатов Географической сети опытов 219

Щуклина О.А., Афанасьев Р.А. Применение фотометрии для оперативной диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур 227

Юмашев Х.С., Захарова И.А. Влияние минеральных удобрений на плодородие выщелоченного чернозема и продуктивность культур севооборота 237

Алфавитный указатель авторов 253

Научная литература

МАТЕРИАЛЫ
Международной научной конференции, посвященной
90-летию
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и
80-летию
Географической сети опытов
с удобрениями
(1-2 декабря 2021 г.)

ISBN 978-5-9238-0269-6

9 785923 802696

Компьютерная верстка – Бражникова Н.В.

Издание выполнено в редакционно-издательском отделе ВНИИА
Лицензия на издательскую деятельность ЛР 040919 от 07.10.98
Лицензия на полиграфическую деятельность ПЛД №53-468 от13.08.99
Подписано в печать 10.02.2022 Формат 60х84/16
Усл.печ.л. 16,0 Тираж 500 экз. Заказ № 1
Почтовый адрес: 127550 Москва, ул. Прянишникова, д. 31-А
Тел. (499) 976-25-01, e-mail: pl@vniia-pr.ru