

УДК 631.8:631.445.24(470.53)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ В УСЛОВИЯХ ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2023 г. М. Т. Васбиева^{1,*}, В. Р. Ямалтдинова¹

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ПФИЦ УрО РАН
614532 с. Лобаново, Пермский р-н, Пермский край, ул. Культуры, 12, Россия

*E-mail: vasbievamt15@gmail.com

Поступила в редакцию 31.01.2022 г.

После доработки 31.03.2022 г.

Принята к публикации 15.12.2022 г.

В длительном полевом опыте, заложенном в 1968 г., проведена оценка эффективности применения органической, минеральной и органо-минеральной систем удобрения на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Установлено, что в климатических условиях Предуралья органическая система удобрения по влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур уступала минеральной и органо-минеральной системам удобрения. В отдельных ротациях севооборотов более эффективной была органо-минеральная, в других – минеральная система удобрения. Рассмотрена эффективность применения удобрений в зависимости от условий увлажнения вегетационного периода. Рассчитан баланс органического углерода и основных элементов питания в почве. Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без применения удобрений привело к потере из почвы >10 т органического углерода, ≈2300 кг азота, 780 кг фосфора и 2700 кг калия. Высокие отрицательные балансы основных элементов питания в контрольном варианте привели к ухудшению показателей плодородия почвы. Показано, что применение всех систем удобрения обеспечило увеличение содержания подвижных соединений фосфора и калия в почве относительно исходного уровня в 1.2–3.0 раза. При использовании органической и органо-минеральной систем удобрения отмечено поддержание содержания органического углерода на исходном уровне (1.3%). При использовании минеральной системы удобрения поддержание содержания органического углерода на исходном уровне отмечено только при более высокой насыщенности пашни NPK. Минеральная система удобрения привела к подкислению почвы.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, продуктивность севооборота, баланс органического углерода и элементов питания, ГТК, КИУ, плодородие почвы.

DOI: 10.31857/S0002188123030110, **EDN:** KOFNDW

ВВЕДЕНИЕ

Уровень применения удобрений в севообороте, обеспечивающий максимальную продуктивность культур и положительный баланс элементов питания, – важный нормативный материал при разработке мероприятий для сохранения плодородия почв [1]. Длительные опыты являются уникальной основой для исследования эффективности удобрений, их влияния на почвенное плодородие, урожайность и качество сельскохозяйственных культур [2]. Большое разнообразие почвенных и климатических условий страны, большая вариабельность показателей плодородия почв в пространстве и времени требуют всесторонних исследований в каждом отдельном регионе в течение длительного времени.

Цель работы – оценка влияния длительного применения органической, минеральной и органо-минеральной систем удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур с учетом агроклиматических ресурсов региона, баланс углерода и элементов питания и агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном стационарном полевом опыте, заложенном в 1968 г. на базе опытного поля Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН. В опыте изучали следующие системы удобрения: органическую (насыщенность 1 га пашни навозом 10 и 20 т/га/год),

минеральную, в которой дозы удобрений рассчитаны по эквивалентному содержанию питательных веществ в навозе при дозах 10 и 20 т/га, органико-минеральную, где с насыщенностью навозом 5, 10 и 20 т/га/год были внесены минеральные удобрения эквивалентно содержанию питательных веществ в навозе. Повторность четырехкратная, размещение делянок рендомизированное. Опыт заложен в 2-х последовательных во времени закладках. Общая площадь делянки 115.5 м². Исследование проводили в полевом 8-польном парозернопропашном севообороте с чередованием культур: пар чистый—озимая рожь—яровая пшеница с подсевом клевера—клевер 1 года пользования (г.п.), клевер 2 г.п.—ячмень—картофель—овес. Изученная схема в опыте сложилась во 2-й ротации севооборота (1977—1978 гг.), поэтому результаты исследования приведены за последние 5 ротаций (2—6-я ротации).

Навоз КРС вносили в севообороте в 2 приема: под рожь и картофель (разовые дозы составили 20, 40 и 80 т/га). Минеральные удобрения, рассчитанные по эквивалентному содержанию в навозе, распределяли в зависимости от их количества, внесенного под озимую рожь, пшеницу, ячмень, картофель и овес. Клевер не удобряли, учитывали последствие. За 5 ротаций севооборота с навозом при насыщенности пашни навозом 10 т/га/год в почву поступило: N — 1400, P — 950, K — 2070 кг/га (N35P25K50 в год), при насыщенности 20 т/га — 2800, 1900 и 4140 кг/га (N70P50K100 в год) соответственно. Солому в опыте после уборки отчуждали. Формы удобрений — аммонийная селитра или мочевины, двойной или простой суперфосфат, калий хлористый. Минеральные удобрения под яровые зерновые и картофель вносили весной перед посевом, под озимые культуры дробно — осенью и весной в подкормку.

Опытный участок расположен на дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почве с содержанием $C_{орг}$ в среднем в 2-х закладках 1.3%, pH_{KCl} 5.5, H_T — 3.1 смоль(экв)/кг, S — 15.6 смоль(экв)/кг, подвижного P_2O_5 и обменного K_2O (по Кирсанову) — 162 и 173 мг/кг соответственно.

Почвообразующая порода почвы в опыте — желто-бурая некарбонатная покровная глина. Характерной особенностью почвы, сформированной на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, является высокое содержание обменных форм кальция и магния, которое увеличивается с глубиной, как и сумма поглощенных оснований [3, 4].

Исследования проводили в IV агроклиматическом районе Пермского края. В физико-геогра-

фическом отношении район находится в подзоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов [5]. В соответствии с почвенно-экологическим районированием территория Пермского края относится к Вятско-Камской почвенной провинции [6]. Климат — умеренно-континентальный с холодной, продолжительной, снежной зимой и теплым коротким летом. Сумма средних суточных температур $>10^{\circ}C$ составляет 1700—1900 $^{\circ}C$. Длительность периода активной вегетации с температурой $>10^{\circ}C$ в среднем 115 сут, с температурой $>15^{\circ}C$ — 60 сут. Район относится к зоне достаточного увлажнения: ГТК = 1.4, осадков за год выпадает 470—500 мм, испаряемость с поверхности почвы составляет ≈ 340 мм.

Расчет баланса органического углерода проводили по методике, предложенной Лыковым [7]. Баланс углерода рассчитывали как разность между статьями его прихода (гумификации пожнивных и корневых остатков и органических удобрений) и расхода (минерализации при возделывании сельскохозяйственных культур, паровании полей). Потери определяли по выносу азота урожаем сельскохозяйственных культур. Коэффициенты использования элементов питания из удобрений (КИУ) рассчитывали разностным способом. Основные агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками ЦИНАО.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продуктивность сельскохозяйственных культур без применения удобрений в ротациях севооборота варьировала от 25.2 до 29.2 ц к.е. и в среднем за 5 ротаций (40 лет) составила 27.8 ц к.е. (табл. 1). Применение органической, минеральной и органико-минеральной систем удобрения достоверно повысило продуктивность севооборота во всех вариантах опыта на 15—30%. Наибольшая продуктивность получена при применении минеральной и органико-минеральной систем удобрения. Аналогичные результаты получены и в других длительных опытах [2, 8]. При органической системе удобрения полученная продуктивность севооборота была достоверно меньше относительно других систем удобрения. Наибольшее увеличение продуктивности на 8.5 ц к.е. отмечено в варианте с максимальным насыщением пашни удобрениями “навоз 20 т + НРК эквивалентно навозу”. В отдельных ротациях севооборотов более эффективной была органико-минеральная, в других — минеральная система удобрения, что в первую очередь было связано с метеорологиче-

Таблица 1. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность полевого 8-польного севооборота (среднее 2-х закладок, 1977–2017 гг.), ц к.е./га/год

Вариант	Ротации					Среднее за 5 ротаций	Отклонение
	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я		
Контроль	28.3	29.1	25.2	29.2	27.3	27.8	—
Навоз 10 т/га	32.9	34.1	29.6	33.2	30.7	32.1	4.3
Навоз 20 т/га	34.8	35.8	29.9	34.7	32.5	33.5	5.7
НРК эквивалентно 10 т навоза	35.1	35.0	31.5	34.5	35.1	34.2	6.4
НРК эквивалентно 20 т навоза	35.8	35.3	34.5	35.5	37.3	35.7	7.9
Навоз 5 т/га + + НРК эквивалентно навозу 5 т/га	35.9	34.4	30.6	35.1	35.0	34.2	6.4
Навоз 10 т/га + + НРК эквивалентно навозу 10 т/га	33.9	35.7	32.8	37.5	36.7	35.3	7.5
Навоз 20 т/га + + НРК эквивалентно навозу 20 т/га	35.5	35.0	34.8	38.7	37.4	36.3	8.5
<i>НСР</i> ₀₅	1.4	1.0	1.3	1.0	1.7	—	0.7

скими условиями вегетационных периодов в разные годы проведения опыта.

В среднем за 5 ротаций урожайность зерна озимой ржи при применении различных систем удобрения возросла на 21–28, яровой пшеницы — на 14–52, ячменя — на 10–13, овса — на 17–25, клубней картофеля — на 24–58% (табл. 2). Наиболее отзывчивыми на применение удобрений среди всех культур в севообороте были яровая пшеница и картофель. В вариантах НРК эквивалентно 20 т навоза, навоз 10 т + НРК эквивалентно навозу и навоз 20 т + НРК эквивалентно навозу урожайность данных культур возрастала на 40–60%, в отдельных ротациях урожайность культур в этих вариантах увеличивалась на 70–80%. Для яровой пшеницы минеральная система удобрения была более эффективной, чем органическая или органо-минеральная. Для картофеля минеральная и органо-минеральная системы удобрения по эффективности были равнозначными и обеспечивали прибавку урожая на 15–20% больше, чем органическая система удобрения. Яровой ячмень был наименее отзывчивым среди зерновых культур на применение удобрений в климатических условиях Среднего Предуралья, прибавки урожайности не зависели от системы удобрения и не превышали в среднем за 5 ротаций 13%, в отдельные ротации — 23%. Полученные данные о невысокой эффективности систем удобрения на ячмене связаны с размещением культуры после хорошего предшественника [9]. Клевер оставляет в почве большое количество органических остатков, азота, улучшает ее агро-

физические свойства, чем обеспечивает хорошее развитие последующей культуры.

Урожайность сена клевера лугового 1-го г.п. зависела от урожайности покровной культуры (в среднем в ротациях $r = -0.7$). Хорошее развитие покровной культуры приводило к ослаблению и изреживанию всходов клевера лугового. Подобные результаты получены в работе [10]. Только в вариантах с органической системой удобрения, где была получена наименьшая прибавка урожайности яровой пшеницы, отмечено достоверное увеличение урожайности сена клевера на 0.2–0.4 т/га, в остальных вариантах показано снижение урожайности данной культуры. Наблюдали увеличение урожайности сена клевера 2-го г.п. на 0.1–0.5 т/га во всех вариантах опыта по сравнению с вариантом без удобрений.

Изменения погодных условий существенно влияют на урожайность возделываемых культур и продуктивность севооборота. По данным [11], изменчивостью погодных условий объясняется 25–60% изменений эффективности удобрений в Нечерноземной зоне. В первую очередь эффективность удобрений существенно зависит от условий увлажнения вегетационного периода культуры. Поэтому была сделана оценка влияния гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) вегетационного периода на урожайность возделываемых в севообороте культур (табл. 3). За время проведения опыта (1978–2017 гг.) на избыточно увлажненные годы (ГТК > 1.3) пришлось 45%, годы с нормальным увлажнением (ГТК = 1.0–1.3) — 40% и засушливые годы (ГТК < 1.0) — 15% (рис. 1).

Таблица 2. Влияние длительного применения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур (среднее 2-х закладок), т/га

Вариант	Ротации					Среднее за 5 ротаций
	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	
Озимая рожь						
Контроль	3.0	2.5	2.8	3.1	3.2	2.9
Навоз 10 т/га	3.2	3.7	3.1	3.6	3.8	3.5
Навоз 20 т/га	3.6	4.0	3.1	3.7	4.1	3.7
НРК эквивалентно 10 т навоза	3.4	3.7	3.0	3.4	4.0	3.5
НРК эквивалентно 20 т навоза	3.7	3.9	3.2	3.6	4.2	3.7
Навоз 5 т/га + + НРК эквивалентно навозу 5 т/га	3.5	3.8	3.1	3.3	4.1	3.6
Навоз 10 т/га + + НРК эквивалентно навозу 10 т/га	3.6	4.0	3.2	3.4	4.2	3.7
Навоз 20 т/га + + НРК эквивалентно навозу 20 т/га	3.6	3.7	3.2	3.3	4.4	3.6
НСР ₀₅	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.2
Яровая пшеница						
Контроль	1.5	1.8	2.4	2.3	2.5	2.1
Навоз 10 т/га	1.7	2.0	2.9	2.8	2.8	2.4
Навоз 20 т/га	1.9	2.1	3.3	2.8	3.0	2.6
НРК эквивалентно 10 т навоза	2.2	2.2	3.3	2.9	3.4	2.8
НРК эквивалентно 20 т навоза	2.5	2.2	4.3	3.5	3.4	3.2
Навоз 5 т/га + + НРК эквивалентно навозу 5 т/га	2.1	1.8	3.2	3.1	3.2	2.7
Навоз 10 т/га + + НРК эквивалентно навозу 10 т/га	2.3	2.0	3.7	3.5	3.5	3.0
Навоз 20 т/га + + НРК эквивалентно навозу 20 т/га	2.5	2.0	4.4	3.8	3.3	3.2
НСР ₀₅	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2
Клевер 1-го г.п. (сено 16%)						
Контроль	2.9	7.0	4.3	4.9	3.3	4.5
Навоз 10 т/га	3.3	6.9	5.1	5.0	3.2	4.7
Навоз 20 т/га	2.9	7.2	5.0	5.9	3.5	4.9
НРК эквивалентно 10 т навоза	2.3	6.7	4.6	5.4	3.1	4.4
НРК эквивалентно 20 т навоза	2.0	6.3	4.3	5.0	3.1	4.2
Навоз 5 т/га + + НРК эквивалентно навозу 5 т/га	2.8	7.0	4.7	5.2	3.5	4.6
Навоз 10 т/га + + НРК эквивалентно навозу 10 т/га	2.1	5.7	4.5	5.3	3.4	4.2
Навоз 20 т/га + + НРК эквивалентно навозу 20 т/га	1.7	5.2	4.2	5.2	3.4	3.9
НСР ₀₅	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.2
Клевер 2-го г.п. (сено 16%)						
Контроль	2.6	3.9	1.5	3.4	3.0	2.9
Навоз 10 т/га	2.5	4.3	1.5	4.0	3.0	3.1
Навоз 20 т/га	2.4	3.9	1.7	3.7	3.3	3.0
НРК эквивалентно 10 т навоза	2.5	4.3	1.5	4.1	3.3	3.1
НРК эквивалентно 20 т навоза	2.7	3.9	1.7	4.1	3.8	3.2

Таблица 2. Окончание

Вариант	Ротации					Среднее за 5 ротаций
	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	
Навоз 5 т/га + + NPK эквивалентно навозу 5 т/га	2.5	4.5	1.5	4.1	3.7	3.3
Навоз 10 т/га + + NPK эквивалентно навозу 10 т/га	2.6	4.3	1.6	4.1	3.9	3.3
Навоз 20 т/га + + NPK эквивалентно навозу 20 т/га	2.9	4.6	1.5	4.1	3.9	3.4
<i>HCP</i> ₀₅	0.4	0.1	$F_{\phi} < F_T$	0.4	0.5	0.2
Ячмень						
Контроль	3.3	3.3	3.0	2.3	3.6	3.1
Навоз 10 т/га	3.2	3.8	3.5	2.4	3.8	3.4
Навоз 20 т/га	3.4	3.8	3.7	2.5	3.8	3.5
NPK эквивалентно 10 т навоза	3.6	3.7	3.3	2.4	3.8	3.4
NPK эквивалентно 20 т навоза	3.6	3.7	3.2	2.6	4.1	3.4
Навоз 5 т/га + + NPK эквивалентно навозу 5 т/га	3.5	3.9	3.4	2.5	3.9	3.4
Навоз 10 т/га + + NPK эквивалентно навозу 10 т/га	3.6	3.7	3.2	2.7	3.8	3.4
Навоз 20 т/га + + NPK эквивалентно навозу 20 т/га	3.7	3.9	3.4	2.8	3.5	3.5
<i>HCP</i> ₀₅	$F_{\phi} < F_T$	0.3	$F_{\phi} < F_T$	0.2	0.2	0.1
Картофель						
Контроль	15.7	18.0	12.9	19.5	14.2	16.1
Навоз 10 т/га	21.4	19.6	17.3	23.1	18.0	19.9
Навоз 20 т/га	22.8	23.2	14.2	24.1	18.8	20.6
NPK эквивалентно 10 т навоза	20.2	20.7	21.7	24.9	25.3	22.5
NPK эквивалентно 20 т навоза	23.7	21.8	23.4	25.0	26.7	24.1
Навоз 5 т/га + + NPK эквивалентно навозу 5 т/га	23.6	20.3	18.6	26.5	24.8	22.8
Навоз 10 т/га + + NPK эквивалентно навозу 10 т/га	20.7	22.8	22.3	28.1	26.5	24.1
Навоз 20 т/га + + NPK эквивалентно навозу 20 т/га	24.7	21.6	23.6	29.2	27.7	25.4
<i>HCP</i> ₀₅	2.7	2.2	3.5	2.1	3.6	1.2
Овес						
Контроль	3.7	2.1	2.1	2.5	1.6	2.4
Навоз 10 т/га	4.6	2.5	2.2	3.0	1.6	2.8
Навоз 20 т/га	4.6	2.5	2.5	3.2	1.8	2.9
NPK эквивалентно 10 т навоза	4.6	2.7	2.5	3.3	1.8	2.9
NPK эквивалентно 20 т навоза	4.2	2.8	2.8	3.2	2.1	3.0
Навоз 5 т/га + + NPK эквивалентно навозу 5 т/га	4.6	2.3	2.5	3.1	1.6	2.8
Навоз 10 т/га + + NPK эквивалентно навозу 10 т/га	4.1	2.8	2.6	3.5	1.9	3.0
Навоз 20 т/га + + NPK эквивалентно навозу 20 т/га	3.8	2.8	2.6	3.4	2.2	3.0
<i>HCP</i> ₀₅	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2

Таблица 3. Влияние условий увлажнения вегетационного периода на урожайность сельскохозяйственных культур

ГТК	Озимая рожь	Яровая пшеница	Клевер 1-го и 2-го г.п.	Ячмень	Картофель	Овес
Без удобрений*						
Избыточно увлажненные	2.8	2.0	3.5	3.4	17.5	2.5
Нормально увлажненные	2.9	2.4	3.0	3.3	12.9	2.5
Засушливые	3.1	1.8	2.7	2.4	12.1	2.0
Органическая система удобрения**						
Избыточно увлажненные	0.4	0.4	0.3	0.2	4.8	0.5
Нормально увлажненные	0.8	0.6	0.4	0.4	2.9	0.6
Засушливые	1.2	0.3	0.1	0.4	2.8	0.1
Минеральная система удобрения**						
Избыточно увлажненные	0.5	0.9	0.3	0.4	7.3	0.5
Нормально увлажненные	0.7	1.2	0.0	0.3	9.7	0.9
Засушливые	1.6	0.5	0.0	0.3	2.5	0.4
Органо-минеральная система удобрения**						
Избыточно увлажненные	0.5	0.9	0.4	0.3	8.4	0.4
Нормально увлажненные	0.7	1.3	0.2	0.4	8.6	0.8
Засушливые	1.7	0.2	0.2	0.4	4.3	0.4

*Урожайность культур.

**Прибавки урожайности к контрольному варианту.

Исследование показало, что возделывание озимой ржи без применения удобрений обеспечивало получение более высокой урожайности зерна в засушливых условиях. Максимальная прибавка урожайности зерна озимой ржи при любой системе удобрения также была получена в условиях недостаточного увлажнения (ГТК = 0.7–1.0) и составила 1.2–1.7 т/га. В годы с умеренным увлажнением (ГТК = 1.0–1.3) урожайность данной культуры при применении удобрений возрастала на 0.7–0.8 т/га, при повышенном увлажнении (ГТК > 1.3) – на 0.4–0.5 т/га. Полученные результаты связаны с сильным полеганием посевов озимой ржи при сильном увлажнении. Аналогичные результаты отмечены в работах [11, 12].

Урожайность яровой пшеницы в варианте без удобрений была на 20–30% больше в годы с нормальным увлажнением, чем в годы с избыточным увлажнением или в засушливых условиях. Эффективность удобрений для данной культуры была также больше в годы с нормальным увлажнением вегетационного периода. При этом эффективность минеральной и органо-минеральной систем была в 2 раза больше, чем органической.

Урожайность ярового ячменя и овса без применения удобрений в годы с недостаточным увлажнением снижалась на 25–40% и была на одном уровне как при нормальном, так и избыточном увлажнении. Применение органической,

минеральной или органо-минеральной систем удобрения в севообороте обеспечивало небольшую (0.2–0.4 т/га), но достоверную прибавку урожайности ярового ячменя независимо от условия увлажнения вегетационного периода. Максимальная эффективность удобрений для овса была получена в годы с умеренным увлажнением. Прибавки урожайности данной культуры были больше при применении органо-минеральной или минеральной систем удобрения, чем органической системы.

При возделывании картофеля без удобрений наибольшая урожайность клубней получена в годы с избыточным увлажнением (ГТК > 1.3), урожайность культуры была на 35–45% больше, чем при умеренном увлажнении или в засушливых условиях. При органической системе удобрения максимальная прибавка урожайности культуры также была получена при избыточном увлажнении (4.8 т/га). При применении органо-минеральной системы удобрения наибольшие прибавки урожайности (8.4–8.6 т/га) были получены как в годы с избыточным, так и нормальным увлажнением. Минеральная система удобрения обеспечила в годы с нормальным увлажнением прибавку урожайности почти 10 т/га.

Максимальная урожайность сена клевера без применения удобрений была получена в годы с избыточным увлажнением. Наибольшие прибавки

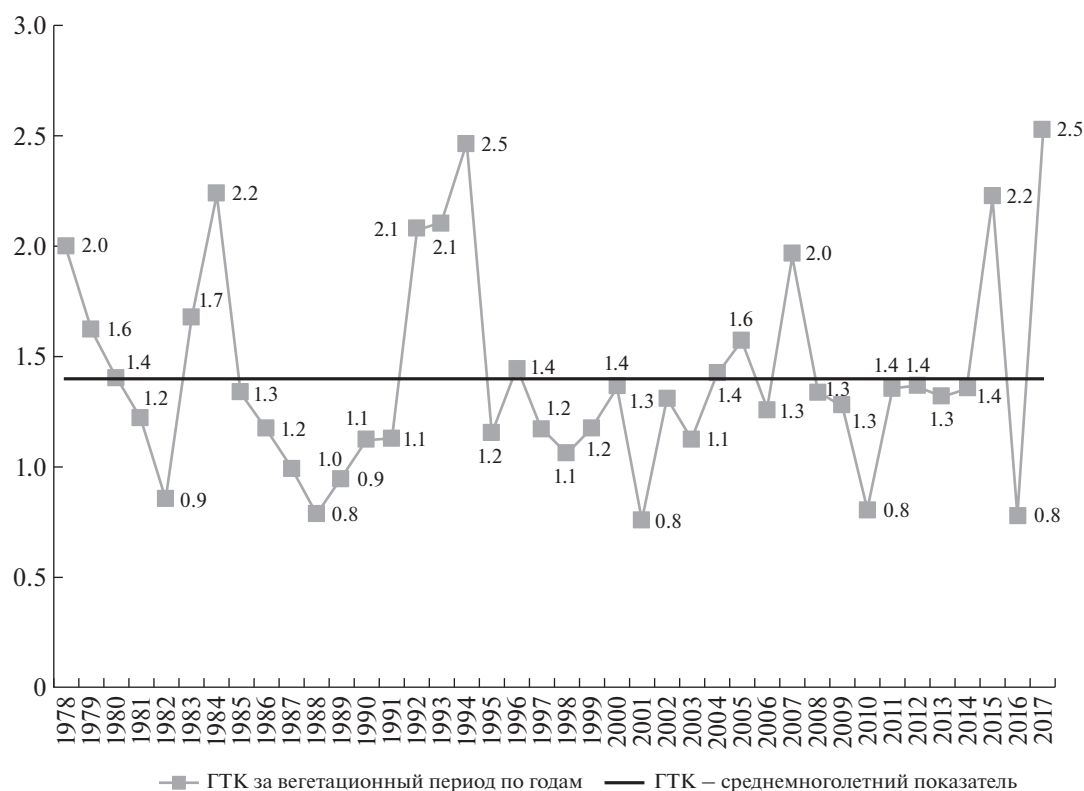


Рис. 1. Гидротермический коэффициент вегетационных периодов сельскохозяйственных культур в годы проведения опыта.

урожайности сена при использовании удобрений получены также при избыточном увлажнении.

При выявлении корреляционных связей между климатическими показателями вегетационных периодов культур (сумма активных температур $>5, 10^{\circ}\text{C}$, сумма осадков и ГТК) и эффективностью различных систем удобрения установлены достоверные слабые и очень слабые зависимости (табл. 4). Для каждой культуры и системы удобрения выявлены свои особенности. Рассчитанные невысокие величины коэффициентов корреляции могут быть связаны с тем, что за 40 лет исследования на долю засушливых периодов пришлось всего 15%, на каждую культуру в севообороте с учетом 2-х закладок опыта пришлось 2 засушливых года. Сумму активных температур, сумму осадков и ГТК рассчитывали от момента посева до уборки культуры.

При органической системе удобрения установлены обратные слабые ($r = -0.3-0.4$) корреляционные зависимости между суммой осадков, ГТК вегетационного периода и прибавкой урожайности озимой ржи, прямые слабые ($r = 0.3-0.4$) — для картофеля. Для яровой пшеницы и овса выявлены слабые и очень слабые ($r = 0.2-0.3$) корреляционные связи между прибавкой уро-

жайности и суммой активных температур ($>5, 10^{\circ}\text{C}$).

При применении минеральной и органо-минеральной систем удобрения установлены обратные слабые ($r = -0.3$) корреляционные зависимости между суммой осадков, ГТК и прибавкой урожайности озимой ржи, прямые слабые и очень слабые ($r = 0.2-0.3$) связи — для яровой пшеницы, овса, клевера и картофеля. Выявлены прямые слабые и очень слабые ($r = 0.2-0.3$) корреляционные связи между суммой активных температур (10°C) и прибавкой урожайности озимой ржи, обратные слабые ($r = 0.3-0.4$) — для яровой пшеницы и овса. Между урожайностью или прибавками урожайности ярового ячменя (при любой системе удобрения) и климатическими показателями корреляционные связи не установлены.

Возможно, на результаты, полученные при статистическом анализе урожайных данных для клевера лугового, могло повлиять то, что их урожайность зависела не столько от погодных условий, а условий развития всходов под покровной культурой.

Кроме того, более высокие корреляционные связи между урожайностью культур и климатическими показателями могут быть получены при

Таблица 4. Закономерности изменения (коэффициент корреляции) урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от агрометеорологических условий

Метеорологические условия	Озимая рожь	Яровая пшеница	Клевер 1-го г.п.	Клевер 2-го г.п.	Ячмень	Картофель	Овес
Без удобрений (контрольный вариант)							
Сумма активных температур >5°C	0.5	0.1*	−0.1*	−0.1*	0.0*	−0.1*	−0.1*
Сумма активных температур >10°C	0.4	0.1*	−0.1*	−0.1*	−0.0*	−0.2*	−0.1*
Сумма осадков, мм	−0.3*	0.2*	0.2*	0.2*	0.1*	0.0*	0.1*
ГТК	−0.5	0.2*	0.3*	0.5	0.1*	−0.1*	0.2*
Органическая система удобрений**							
Сумма активных температур >5°C	−0.1*	−0.4	0.0*	0.2	0.0*	0.1*	−0.2*
Сумма активных температур >10°C	0.1*	−0.3	−0.1*	0.3	0.0*	0.1*	−0.3
Сумма осадков, мм	−0.4	0.0*	0.1*	0.2*	−0.2*	0.4	0.1*
ГТК	−0.3	0.1*	0.0*	0.1*	−0.2*	0.3	0.1*
Минеральная система удобрений**							
Сумма активных температур >5°C	0.1*	−0.4	−0.1*	0.1*	−0.1*	−0.1*	−0.3
Сумма активных температур >10°C	0.2	−0.4	−0.1*	0.2*	−0.1*	0.0*	−0.4
Сумма осадков, мм	−0.3	0.3	0.1*	0.1*	0.0*	0.2	−0.2*
ГТК	−0.3	0.3	0.1*	0.4	0.0*	0.1*	−0.1*
Органо-минеральная система удобрения**							
Сумма активных температур >5°C	0.2*	−0.4	−0.1*	0.3	−0.1*	−0.1*	−0.2*
Сумма активных температур >10°C	0.3	−0.4	−0.1*	0.3	−0.1*	0.0*	−0.2
Сумма осадков, мм	−0.3	0.4	0.1*	0.2	−0.1*	0.4	−0.2
ГТК	−0.3	0.4	0.3	0.5	−0.1*	0.2	−0.2*
Корреляция урожайности с климатическими показателями в целом в опыте							
Сумма активных температур >5°C	0.5	−0.2	−0.1*	0.0*	0.0*	−0.1*	−0.2
Сумма активных температур >10°C	0.5	−0.2	−0.1*	0.0*	0.1*	−0.1*	−0.2
Сумма осадков, мм	−0.5	0.3	0.2	0.2	0.1*	0.2	0.1*
ГТК	−0.6	0.3	0.3	0.5	0.1*	0.1*	0.1*

*Коэффициент корреляции незначительный.

**Корреляционные связи рассчитывали с полученной прибавкой урожайности культуры.

рассмотрении не вегетационного периода культуры в целом, а обеспеченности теплом и влагой их “критических периодов” развития.

Существенное значение для обоснования наиболее эффективных уровней применения удобрений и направленного регулирования почвенного плодородия имеют расчеты баланса органического вещества и элементов минерального питания. Анализ использования удобрений и средств химической мелиорации почв в период интенсивной химизации (1971–1995 гг.) показал, что благодаря их внесению в дозах, превышающих вынос питательных веществ урожаями сельскохозяйственных культур, баланс питательных веществ в земледелии страны был положительным, что способствовало резкому повышению плодородия почв в России, особенно в Нечерноземной зоне [13]. Начиная с 1990-х гг., применение удобрений сократилось. Баланс питательных веществ в земледелии стал складываться со значительным превышением выноса над их поступлением в почву.

В Пермском крае с 1966 по 1990 г. насыщенность пашни минеральными удобрениями варьировала от 30 до 97 кг д.в./га, органическими — от 2.0 до 4.3 т/га/год. За последние 20 лет насыщенность пашни минеральными удобрениями составила 10–14 кг д.в., органическими — 0.9–1.4 т/га. Возмещение выноса элементов питания в последние годы составило не более 15%. Нарушение баланса питательных веществ в земледелии приводит к снижению плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур.

По данным нашего исследования, в варианте без применения удобрения минерализация органического вещества в почве превысила процессы гумификации в 2 раза, получен отрицательный баланс углерода в почве (−260 кг/га/год) (табл. 5). За 5 ротаций севооборота было потеряно органического углерода >10 т/га. Отрицательный баланс органического углерода получен при применении минеральной системы удобрения и органо-минеральной с невысоким насыщением пашни наво-

Таблица 5. Баланс органического углерода в полевом 8-польном севообороте, т/га (среднее 2-х закладок, 1977–2017 гг.)

Варианты опыта	Приход	Расход	Баланс	
			за ротацию	в год
Контроль	1.8	3.9	–2.1	–0.26
Навоз 10 т/га	4.3	4.2	0.1	0.01
Навоз 20 т/га	6.6	3.9	+2.7	+0.33
НРК эквивалентно 10 т навоза	2.0	4.4	–2.4	–0.30
НРК эквивалентно 20 т навоза	2.0	4.1	–2.1	–0.26
Навоз 5 т/га + НРК эквивалентно навозу 5 т/га	3.1	4.5	–1.4	–0.18
Навоз 10 т/га + НРК эквивалентно навозу 10 т/га	4.3	4.3	0.0	0.00
Навоз 20 т/га + НРК эквивалентно навозу 20 т/га	6.6	3.3	+3.3	+0.41

зом (навоз 5 т/га + НРК эквивалентно навозу). Нулевой баланс получен в вариантах с насыщением пашни органическими удобрениями 10 т/га/год (навоз 10 т/га, навоз 10 т/га + НРК эквивалентно навозу). Только при высоком насыщении пашни навозом 20 т/год сформировался положительный баланс органического углерода (+330 и +410 кг/га/год).

Среднегодовой вынос азота урожаем сельскохозяйственных культур в контрольном варианте составил ≈ 60 , фосфора – 20 и калия 65 кг/га (табл. 6). При внесении навоза среднегодовой вынос N, P_2O_5 и K_2O увеличился на 15–35%, использовании минеральных удобрений – на 15–40%, при органо-минеральной системе удобрения – на 20–50%. В большей степени наблюдали увеличение потребления азота и калия. Это подтвердил и расчет хозяйственного выноса на 1 т основной продукции (табл. 7). Существенно возрастал при использовании удобрений хозяйственный вынос N и K_2O 1 т зерна озимой ржи, яровой пшеницы и овса, в меньшей степени увеличивался вынос 1 т зерна ячменя и 1 т сена клевера. Для картофеля вынос основных элементов питания в вариантах опыта варьировал незначительно.

Положительный баланс азота и калия сложился в вариантах навоз 20 т/га, НРК эквивалентно 20 т навоза, “навоз 10 т/га в год + НРК эквивалентно навозу, навоз 20 т/га в год + НРК эквивалентно навозу. Отрицательный баланс азота и калия в остальных вариантах составил ≈ 20 –35 кг/га/год, компенсация выноса составила 60–80%. Во всех вариантах складывался нулевой или положительный баланс фосфора.

Наиболее высокая интенсивность баланса азота, фосфора и калия (193, 378 и 210% соответственно) отмечена в варианте навоз 20 т/га в год + НРК эквивалентно навозу. Однако в этом случае получены самые низкие коэффициенты исполь-

зования НРК из удобрений. В отдельных ротациях севооборотов КИУ N варьировал от 7 до 27, P_2O_5 – от 4 до 12 и K_2O – от 16 до 18% (в среднем за 5 ротаций КИУ составили 17, 7 и 17% соответственно). Наиболее высокий КИУ азота, фосфора и калия получен при внесении НРК эквивалентно 10 т навоза и внесении навоза 5 т/га + НРК эквивалентно навозу, полученные коэффициенты в среднем за 5 ротаций были близки к нормативным литературными данным [14]. В отдельных ротациях севооборотов в этих вариантах коэффициент использования азота из удобрений варьировал от 25 до 60, P_2O_5 – от 5 до 20 и K_2O – от 30 до 70%. Снижение коэффициентов использования элементов питания из удобрений при увеличении их доз отмечено в работах [15, 16]. Коэффициенты использования растениями азота и калия из удобрений были в 2–10 раз больше, чем фосфора, что объясняется хорошей растворимостью азотных и калийных удобрений в воде. Наиболее полное использование азота и калия растениями из удобрений подтверждено результатами исследований других авторов [17].

Сложившиеся балансы органического углерода и элементов питания в вариантах опыта согласуются с агрохимическими показателями почвы, установившимися к концу 6-й ротации севооборота. В почве контрольного варианта отмечена тенденция к снижению содержания органического углерода ($C_{орг}$) с момента закладки опыта в 1968 г. с 1.33 до 1.15%. Поддержание содержания органического углерода на исходном уровне отмечено при внесении навоза 10 и 20 т/га, НРК эквивалентно навозу 20 т/га. Минеральные удобрения могут поддерживать уровень содержания органического вещества в почве благодаря росту количества поступающего органического материала с пожнивными остатками, увеличению разнообразия, численности и активности почвенных микроорганизмов [18–20]. Достоверное увеличение

Таблица 6. Баланс основных элементов питания в полевом 8-польном севообороте, кг/га (среднее 2-х закладок, 1977–2017 гг.)

Вариант	Поступление элемента в сумме за 5 ротаций, кг/га	Хозяйственный вынос азота в сумме за 5 ротаций, кг/га	Баланс +/–, кг/га		Интенсивность баланса	Коэффициент использования азота из удобрений
			всего	в среднем в год		
	кг/га					%
Азот*						
Контроль	685	2332	–1647	–41	29	–
Навоз 10 т/га	2136	2763	–627	–16	77	30
Навоз 20 т/га	3544	2903	641	16	122	20
НРК эквивалентно 10 т навоза	2121	2949	–828	–21	72	43
НРК эквивалентно 20 т навоза	3541	3124	418	10	113	28
Навоз 5 т/га + НРК экви- валентно навозу 5 т/га	2238	2942	–705	–18	76	39
Навоз 10 т/га + НРК экви- валентно навозу 10 т/га	3654	3188	467	12	115	29
Навоз 20 т/га + НРК экви- валентно навозу 20 т/га	6440	3329	3111	78	193	17
Фосфор**						
Контроль	60	778	–718	–18	8	–
Навоз 10 т/га	1010	891	119	3	113	12
Навоз 20 т/га	1955	960	996	25	204	10
НРК эквивалентно 10 т навоза	1010	905	105	3	112	13
НРК эквивалентно 20 т навоза	1950	938	1012	25	208	8
Навоз 5 т/га + НРК экви- валентно навозу 5 т/га	1038	922	116	3	113	15
Навоз 10 т/га + НРК экви- валентно навозу 10 т/га	2022	986	1036	26	205	11
Навоз 20 т/га + НРК экви- валентно навозу 20 т/га	3918	1038	2880	72	378	7
Калий**						
Контроль	130	2659	–2529	–63	5	–
Навоз 10 т/га	2199	3298	–1099	–27	67	31
Навоз 20 т/га	4268	3574	694	17	119	22
НРК эквивалентно 10 т навоза	2202	3584	–1382	–35	61	45
НРК эквивалентно 20 т навоза	4226	3729	496	12	113	26
Навоз 5 т/га + НРК экви- валентно навозу 5 т/га	2288	3638	–1350	–34	63	45
Навоз 10 т/га + НРК экви- валентно навозу 10 т/га	4407	3913	494	12	113	29
Навоз 20 т/га + НРК экви- валентно навозу 20 т/га	8549	4064	4485	112	210	17

*С удобрениями, семенами и клевером.

** С удобрениями и семенами.

содержания органического углерода больше исходного уровня отмечено в варианте с максимальной насыщенностью удобрениями — навоз 20 т/га в год + NPK эквивалентно навозу, его содержание возросло на 15%.

Содержание подвижных соединений фосфора в почве контрольного варианта за время проведения опыта уменьшилось незначительно, содержание обменных соединений калия снизилось на 20%. При сложившемся высоком отрицательном балансе данных элементов за 5 ротаций запасы подвижных соединений фосфора в почве снизились всего на 30 кг, а обменных соединений калия — на 80 кг. Это свидетельствовало о том, что в почве происходила мобилизация фосфора и калия из труднодоступных и необменных форм или потребление подвижных форм элементов из подпахотного горизонта. Применение удобрений обеспечило увеличение содержания подвижных соединений фосфора в почве в 1.5–3.0 и обменных форм калия — в 1.2–2.2 раза, их количество повышалось пропорционально увеличению насыщенности пашни удобрениями.

Максимальное достоверное увеличение содержания общего и минерального азота в почве (в 1.2–1.3 раза) отмечено в вариантах с высоким насыщением удобрениями (навоз 20 т/га, NPK эквивалентно навозу 20 т/га, навоз 10 т/га + NPK эквивалентно навозу) [21]. По данным [22], на среднесуглинистых почвах, обладающих повышенной емкостью катионного обмена, установлена определяющая роль в питании растений и продуктивности сельскохозяйственных культур нитратного азота, накапливающегося в ранний период вегетации культур. Внесенные минеральные удобрения перед посевом обеспечивали более высокие запасы нитратного азота в почве, что могло быть одной из причин наиболее высокой эффективности минеральной и органо-минеральной систем удобрения в опыте в сравнении с органической системой (табл. 9).

В 1-й ротации севооборота в опыте было проведено известкование (по 1.0 H_r), было отмечено существенное улучшение показателей кислотности почвы. Положительное влияние наблюдали в течение 2-х ротаций, с 3-й ротации отмечено увеличение гидролитической кислотности и снижение показателя pH_{KCl} . В 3–6-й ротациях севооборота в контрольном варианте гидролитическая кислотность варьировала в пределах 2.8–3.1 смоль(экв)/кг почвы и стала близка к исходной величине (H_r при закладке опыта до известкования — 3.1, после известкования — 2.4). Показатель pH_{KCl} снизился до 4.9 (pH_{KCl} при закладке

Таблица 7. Хозяйственный вынос элементов питания сельскохозяйственными культурами 1 т основной продукции, кг (среднее 2-х закладок за 5 ротаций севооборота)

Вариант	Озимая рожь			Пшеница			Клевер 1-го г.п.			Клевер 2-го г.п.			Ячмень			Картофель			Овес		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	23	9	26	25	10	23	22	4	28	27	6	29	25	10	22	3	1	5	25	10	28
Навоз 10 т/га	26	10	30	28	10	27	24	5	28	26	6	33	26	9	26	3	1	5	28	11	33
Навоз 20 т/га	25	10	30	29	10	28	23	5	30	28	6	33	29	11	31	3	1	5	26	11	33
NPK эквивалентно 10 т навоза	27	10	37	31	10	27	23	5	29	26	6	33	25	9	23	3	1	5	29	10	35
NPK эквивалентно 20 т навоза	29	10	35	33	9	31	23	4	30	25	6	34	24	10	24	3	1	5	31	10	33
Навоз 5 т/га + NPK эквивалентно навозу 5 т/га	27	10	33	30	10	32	23	4	28	27	6	34	26	10	27	3	1	5	29	10	36
Навоз 10 т/га + NPK эквивалентно навозу 10 т/га	30	10	36	33	10	34	24	5	31	26	6	36	27	10	27	3	1	5	32	11	37
Навоз 20 т/га + NPK эквивалентно навозу 20 т/га	30	10	37	36	11	38	24	5	32	26	6	32	27	10	29	3	1	5	34	12	43

Таблица 8. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (среднее 2-х закладок, конец 6-й ротации)

Вариант	C _{орг} , %	рН _{KCl}	H _г , смоль(экв)/кг	P ₂ O ₅	K ₂ O
				мг/кг	
Контроль	1.15	4.9	2.8	153	142
Навоз 10 т/га	1.33	5.2	2.4	220	212
Навоз 20 т/га	1.41	5.4	2.1	272	228
НПК эквивалентно 10 т навоза	1.26	4.7	3.4	216	225
НПК эквивалентно 20 т навоза	1.31	4.6	3.7	245	320
Навоз 5 т/га + НПК эквивалентно навозу 5 т/га	1.30	4.9	3.0	227	233
Навоз 10 т/га + НПК эквивалентно навозу 10 т/га	1.38	4.9	2.9	269	277
Навоз 20 т/га + НПК эквивалентно навозу 20 т/га	1.53	4.8	3.3	472	387
HCP ₀₅	0.15	0.2	0.5	30	35

Таблица 9. Влияние длительного применения удобрений на динамику запасов нитратного и аммонийного азота в фазах развития растений яровой пшеницы (0–20 см), кг/га (7-я ротация)

Вариант	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄
	кушение		колошение		перед уборкой	
Контроль	6.0	43.0	5.5	27.5	13.0	56.0
Навоз 10 т/га	9.0	36.0	6.0	33.0	19.0	67.0
Навоз 20 т/га	9.0	35.5	5.0	46.5	20.0	70.0
НПК эквивалентно 10 т навоза	10.0	39.5	4.8	35.0	20.0	45.0
НПК эквивалентно 20 т навоза	24.0	54.5	6.5	43.5	25.5	58.5
Навоз 5 т/га + НПК эквивалентно навозу 5 т/га	10.5	40.0	6.3	32.0	27.5	53.5
Навоз 10 т/га + НПК эквивалентно навозу 10 т/га	18.0	40.0	6.3	42.5	30.0	74.5
Навоз 20 т/га + НПК эквивалентно навозу 20 т/га	29.5	51.0	10.5	30.5	26.0	64.0
HCP ₀₅	3.5	4.5	1.0	8.0	4.0	F _ф < F _т

опыта до известкования — 5.5, после известкования — 6.0). Подкислению почвы способствовал вынос урожаем сельскохозяйственных культур кальция, магния, калия. Подкисление почвы могло быть также связано с климатическими изменениями в регионе и загрязнением окружающей среды, выпадением кислотных дождей [23, 24]. Применение минеральной системы удобрения привело к существенному подкислению почвы, в отдельные ротации отмечено увеличение гидролитической кислотности до 4.0–4.5 смоль(экв)/кг почвы, показатель рН_{KCl} снижался до 4.5. Применение органической системы удобрения обеспечивало улучшение показателей кислотности почвы. Соответственно органо-минеральная система удобрения занимала промежуточное положение по влиянию на показатели гидролитической и обменной кислотности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования в длительном опыте показали, что применение на дерново-подзолистой почве органической системы удобрения (насыщенность пашни навозом 10 и 20 т/га/год) обеспечило увеличение продуктивности полевых культур в севообороте в среднем за 5 ротаций на 15–20%, минеральной (эквивалентно навозу) и органо-минеральной систем удобрения — на 25–30%. Наиболее отзывчивыми на применение удобрений в севообороте были яровая пшеница и картофель. Для яровой пшеницы минеральная система удобрения была более эффективной, чем органическая или органо-минеральная системы. Для картофеля минеральная и органо-минеральная системы удобрения по эффективности были равнозначными и обеспечивали прибавку урожая на 15–20% больше, чем органическая система. Яровой ячмень был наименее отзывчивым среди

культур на применение удобрений, прибавки урожайности не зависели от системы удобрения и не превышали 13% в среднем за 5 ротаций, что было связано с его размещением после хорошего предшественника в севообороте — клевера. Урожайность сена клевера лугового в большей степени зависела от развития и урожая покровной культуры.

Урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения удобрений зависела от условий увлажнения вегетационного периода. Более высокая урожайность озимой ржи и эффективность применения удобрений для данной культуры получена в более засушливых условиях (ГТК = 0.7–1.0), что объясняется высокой полегаемостью культуры. Яровая пшеница обеспечивала более высокие урожаи без применения удобрений в годы с нормальным увлажнением (ГТК = 1.0–1.3), овес хорошо себя показывал как в годы с нормальным, так избыточным увлажнением (ГТК >1.3). Максимальная эффективность удобрений для обеих яровых зерновых культур получена при умеренном (нормальном) увлажнении вегетационного периода. Эффективность применения удобрений для ярового ячменя не зависела от условий увлажнения вегетационного периода. Картофель и клевер без применения удобрений обеспечивали более высокую урожайность в годы с избыточным увлажнением. Максимальные прибавки урожайности картофеля от удобрений получены в годы с нормальным и избыточным увлажнением, клевера — при избыточном увлажнении.

Возделывание сельскохозяйственных культур без применения удобрений в течение 40 лет привело к потере из почвы >10 т органического углерода, ≈2300 кг азота, 780 кг фосфора и 2700 кг калия. Высокие отрицательные балансы элементов питания привели к снижению показателей плодородия: отмечено снижение содержания органического углерода на 14%, содержания обменных соединений калия на 20%, ухудшение кислотности почвы относительно исходного уровня. Потери обменных и подвижных соединений элементов питания могли быть еще больше, т.к. в почве происходили постоянные процессы их восполнения из более труднодоступных и необменных форм. Применение всех систем удобрения обеспечило увеличение подвижных соединений фосфора в почве относительно исходного уровня в 1.5–3.0 и обменных форм калия — в 1.2–2.2 раза, их количество повышалось пропорционально увеличению насыщенности пашни удобрениями. Наблюдали достоверное увеличение запасов нитратного азота в почве в начальные фазы развития

растений при использовании минеральной и органо-минеральной систем удобрения. Поддержание содержания органического углерода в почве на исходном уровне отмечено при внесении навоза 10 и 20 т/га, NPK эквивалентно навозу 20 т/га. Применение минеральной системы удобрения привело к существенному подкислению почвы, при применении органической системы отмечено улучшение показателей кислотности.

Максимальная продуктивность культур в севообороте, достоверное увеличение содержания органического углерода больше исходного уровня, наибольшее увеличение содержания подвижных соединений фосфора и обменных форм калия отмечено при максимальной насыщенности пашни удобрениями (навоз 20 т/га в год + NPK эквивалентно навозу). Однако в этом случае получены самые низкие коэффициенты использования NPK из удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапа В.В., Ивахненко Н.Н., Бавтрук А.А. Продуктивность зернотравянопропашного севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении различных систем удобрения // *Агрохимия*. 2009. № 6. С. 22–31.
2. 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 // *Euras. Soil Sci.* 2020. V. 53. № 12. P. 1794–1808. <https://doi.org/10.1134/S1064229320120133>
3. Глазовская М.А., Кречетов П.П., Черницова О.В. Общие закономерности накопления и возобновления запасов элементов-органогенов в дерново-подзолистых почвах хвойно-широколиственных лесов // *Почвоведение*. 2004. № 12. С. 1430–1439.
4. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Кн. изд-во, 1962. 278 с.
5. Агроклиматические ресурсы Пермской области / Под ред. Е.В. Григорчук. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 156 с.
6. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 252 с.
7. Лыков М.К. К методике расчетного определения гумусового баланса почвы в интенсивном земледелии // *Изв. ТСХА*. 1979. № 3. С. 21–34.
8. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П., Козлова А.В., Макшакова О.В., Волошин С.П., Хромова О.М., Панкратенкова И.В. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Агрохимия*. 2012. № 2. С. 37–46.
9. Борисоник З.Б. Ячмень яровой. М.: Колос, 1974. 255 с.

10. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние систем удобрения в севообороте на продуктивность серых лесных почв // Владимир. земледелец. 2011. № 1. С. 15–23.
11. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 144 с.
12. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. М.: ЦИНАО, 2003. 228 с.
13. Сычев В.Г. Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
14. Анспок П.И., Штиканс Ю.К., Визла Р.Р. Справочник агрохимика Нечерноземной полосы. Л.: Колос, 1981. 328 с.
15. Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // Пробл. агрохим. и экол. 2018. № 1. С. 38–41.
16. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из минеральных удобрений, навоза и почвы культурами севооборота // Международ. журн. эксп. образ-я. 2016. № 5. Ч. 1. С. 83–90.
17. Дуйшембиев Н.Д., Ахматбеков М.А., Мамбетов К.М.Ш.Б., Жайнакова Г.Л.Б., Эмил У.У. Коэффициенты использования элементов питания растениями в севообороте, при длительном применении удобрений // Вестн. Кыргыз. нац. аграр. ун-та им. К.И. Скрябина. 2018. № 2 (47). С. 51–58.
18. Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Сторожева А.Н. Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2014. № 6. С. 20–28.
19. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
20. Christopher S.F., Lal R. Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils // Critic. Rev. Plant Sci. 2007. V. 26. P. 45–64. <https://doi.org/10.1080/07352680601174830>
21. Ямалтдинова В.Р., Завьялова Н.Е., Фомин Д.С., Васбиева М.Т. Влияние систем удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья // Рос. сел.-хоз. наука. 2020. № 1. С. 29–32. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-29-32>
22. Окорков В.В. К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом // Агрохимия. 2021. № 12. С. 3–14. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120103>
23. Шамрикова Е.В. Соколова Т.А., Забоева И.В. Кислотно-основная буферность органогенных горизонтов подзолистых и болотно-подзолистых почв республики Коми // Почвоведение. 2003. № 7. С. 797–807.
24. Veremeenko S.I. Furmanets O.A. Changes in the agrochemical properties of dark gray soil in the Western Ukrainian forest-steppe under the effect of long-term agricultural use // Euras. Soil Sci. 2014. V. 47. P. 483–490. <https://doi.org/10.1134/S106422931405024X>

Efficiency of Application of Organic, Organo-Mineral and Mineral Fertilizer Systems on Sod-Podzolic Heavy Loamy Soil in Sis-Urals

M. T. Vasbieva^{a,*} and V. R. Yamaltdinova^a

^aPerm Federal Scientific Center, Ural Branch of the RAS
ul. Kultury, 12, Permskij kraj, s. Lobanovo 614532, Russia

*E-mail: vasbievamt15@gmail.com

In a long-term field experiment, laid down in 1968, an assessment of the effectiveness of the use of organic, mineral and organo-mineral fertilizer systems on sod-podzolic heavy loamy soil was carried out. It was found that in the climatic conditions of the Urals, the organic fertilizer system was inferior to the mineral and organo-mineral fertilizer systems in terms of its effect on crop yields. In some rotations of crop rotations, the organo-mineral fertilizer system was more effective, in others – the mineral fertilizer system. The effectiveness of the use of fertilizers depending on the conditions of humidification of the growing season is considered. The balance of organic carbon and basic nutrients in the soil is calculated. Long-term cultivation of agricultural crops without the use of fertilizers led to the loss of >10 tons of organic carbon, ≈2300 kg of nitrogen, 780 kg of phosphorus and 2700 kg of potassium from the soil. High negative balances of basic nutrients in the control variant led to a deterioration in soil fertility indicators. It is shown that the use of all fertilizer systems provided an increase in the content of mobile phosphorus and potassium compounds in the soil relative to the initial level by 1.2–3.0 times. When using organic and organo-mineral fertilizer systems, the maintenance of organic carbon content at the initial level (1.3%) was noted. When using a mineral fertilizer system, the maintenance of the organic carbon content at the initial level was noted only at a higher saturation of the arable land with NPK. The mineral fertilizer system has led to acidification of the soil.

Keywords: sod-podzolic soil, crop rotation productivity, balance of organic carbon and nutrients, HTC, FUR, soil fertility.