

УДК 631.861:631.82:631.559:631.582(470.55:571.11)

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПРЕВШЕГО ГУСИНОГО ПОМЕТА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОПАРОВОГО СЕВООБОРОТА В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

© 2021 г. И. В. Синявский<sup>1,\*</sup>, А. М. Плотников<sup>2</sup>, А. В. Созинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный аграрный университет  
457100 Троицк, Челябинская обл., ул. Гагарина, 13, Россия

<sup>2</sup> Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева  
641300 с. Лесниково, Курганская обл., Кетовский р-н, КГСХА, Россия

\*E-mail: [tvj\\_t@sursau.ru](mailto:tvj_t@sursau.ru)

Поступила в редакцию 22.03.2021 г.

После доработки 11.06.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучили влияние сочетаний птичьего помета и минеральных удобрений на урожайность зерновых культур в зернопаровом севообороте на черноземе выщелоченном лесостепного Зауралья. Показано, что данный прием позволял значительно повысить продуктивность пашни. В среднем за 3 года исследования сочетание органических и минеральных удобрений определяло продуктивность севооборота 2.07–2.17 т/га, что составило 140–147% относительно контрольного варианта. Также отмечена стабилизация в формировании фонда доступных форм элементов питания растений. Ежегодное внесение удобрений в дозе N40P40 на фоне гусиного помета 10 т/га способствовало увеличению в почве содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> с 47 до 63 мг/кг относительно контроля. Содержание обменного калия выросло относительно контроля на 9%. Коэффициент использования азота удобрений в вариантах с внесением гусиного помета составил 41.0–43.5, фосфора – 26.3–30.4%.

*Ключевые слова:* гусиный помет, удобрения, агрохимические свойства почвы, урожайность, зерновые культуры, чернозем выщелоченный, севооборот.

DOI: 10.31857/S0002188121120140

### ВВЕДЕНИЕ

Приоритетное направление в повышении эффективности сельскохозяйственного производства основывается на планировании вопросов интенсификации, совершенствования экономических методов хозяйствования, переработки и реализации сельскохозяйственной продукции. Решение этой задачи можно осуществить за счет систематического повышения урожайности всех сельскохозяйственных культур, расширенного воспроизводства плодородия почвы и роста общей культуры земледелия. В связи с этим резко возрастает роль органических и минеральных удобрений. Огромный фактический материал, накопленный научно-исследовательскими учреждениями и передовыми хозяйствами нашей страны, свидетельствует о том, что при разумном применении удобрений можно получать высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур на всех типах почв [1–16].

Известно, что длительное использование пахотных почв при возрастающей интенсификации земледелия сказывается на почвообразовательных процессах. Применение в низких объемах органических и минеральных удобрений, а также химических мелиорантов в последние годы привело к значительному снижению почвенного плодородия [1, 4, 16].

Органические удобрения содержат питательные элементы в форме органических соединений растительного и животного происхождения. Систематическое их применение способствует накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы, увеличивает запас питательных веществ, снижает кислотность, повышает содержание поглощенных оснований, поглощательную способность и буферность, создает оптимальные условия для минерального питания растений [2, 7, 9, 10].

Птичий помет является одним из самых распространенных видов удобрений органического

типа. Это наиболее концентрированное органическое удобрение с хорошим соотношением С : N, по скорости действия оно не уступает навозу крупного и мелкого рогатого скота и минеральным удобрениям.

В Российской Федерации и в Зауралье птичий помет является одним из основных видов сырья для получения органических и органо-минеральных удобрений. Данные виды удобрений можно применять в качестве основного, рядкового удобрения и подкормки растений. Используют помет разных сельскохозяйственных птиц, в том числе и гусей [6].

Считается, что пометные удобрения наиболее целесообразно и более эффективно использовать под пропашные, озимые культуры и однолетние травы. Но, на наш взгляд, в системе удобрения яровых культур они не менее эффективны при условии их комплексного сочетания с минеральными удобрениями, особенно в зернопаровых севооборотах или их звеньях. Следует согласиться, что в классическом случае их применения, наибольшие прибавки урожайности ранних яровых зерновых и овощных культур дает применение удобрений под основную вспашку. На этом основана большая часть рекомендованных и применяемых в Зауралье систем удобрения сельскохозяйственных культур, в том числе и зерновых [8, 12, 13]. Исследования по совершенствованию систем удобрения зерновых культур, включающих органические и органо-минеральные комплексы, полученные из птичьего помета, проведены в условиях лесостепной зоны Зауралья.

На черноземах лесостепного Зауралья повышение продуктивности агроценозов невозможно без применения удобрений. По данным агрохимических служб (ГСАС “Курганская”, САС “Шадринская” и “Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии “Челябинский”), в черноземных почвах региона в связи с низкими объемами применяемых удобрений, отмечено снижение содержания элементов питания. В первом минимуме находятся азот и фосфор, балансу именно этих элементов должно уделяться наибольшее внимание [11, 15].

В настоящее время для лесостепной зоны Зауралья разработаны научно обоснованные системы удобрения, севооборотов и обработки почвы [14]. Однако баланс основных элементов питания в севооборотах и пути увеличения коэффициентов их использования из удобрений на черноземных почвах региона недостаточно изучены. Цель работы – изучение эффективности гусиного помета в качестве источника элементов питания в

зернопаровом севообороте на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Зауралья. Ранее подобные исследования на черноземе выщелоченном лесостепной зоны Зауралья не проводили.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарных опытах на опытном поле Курганской ГСХА в 2017–2019 гг. Размещение вариантов в повторениях рендомизированное, повторность четырехкратная. Общая площадь делянки 15 м<sup>2</sup>, учетная – 12 м<sup>2</sup> (2 м × 6 м). Минеральные удобрения вносили ежегодно перед посевом разбросным способом из расчета 20 и 40 кг д.в./га. В качестве удобрений применяли аммиачную селитру и суперфосфат простой. В связи с достаточно высокой обеспеченностью зерновых культур обменным калием при возделывании на черноземе выщелоченном систематическое применение калийного удобрения не рационально, поэтому оно не было включено в схему опыта. Гусиный помет вносили в запас на 3 года под предпосевную культивацию первой пшеницы в дозах 5 и 10 т/га. Состав помета: сухое вещество – 31,7, массовая доля золы в сухом веществе – 44,4, общее содержание азота – 3,8, фосфора – 1,8, калия – 1,3%. Использовали полуперепревший гусиный помет компании ООО “Племенной завод “Махалов”, г. Курган.

Предшественник первой пшеницы – черный пар. Посев яровой пшеницы проводили 28 мая (2017 г.) и 8 июня (2018 г.), овса – 5 июня (2019 г.) сеялкой СЗП-3.6. Высевали пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорт Омская 36 и овес (*Avena sativa* L.) сорта Скакун с нормой высева 5 млн всхожих семян/га. Уборку пшеницы проводили в фазе полной спелости 4 и 25 сентября, овса – 20 сентября комбайном для мелкоделяночных опытов марки “TERRION SR2010”. Учет урожая побочной продукции проводили вручную на каждой делянке методом пробного снопа и после взвешивания пересчитывали в т/га при стандартной влажности 14% и 100%-ной чистоте.

Схема опыта включала 9 вариантов: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N20P20, 3 – N40P40, 4 – гусиный помет 5 т/га, 5 – гусиный помет 5 т/га + N20P20, 6 – гусиный помет 5 т/га + N40P40, 7 – гусиный помет 10 т/га, 8 – гусиный помет 10 т/га + N20P20, 9 – гусиный помет 10 т/га + N40P40.

Закладку опытов, проведение наблюдений и учет осуществляли согласно работе [3]. Исследование проводили полевыми и лабораторными методами. Агрохимические показатели определяли, используя следующие методы: отбор проб почвы – по ГОСТ 28168–89, содержание нитратного азота –

по ГОСТ 26951-86, подвижных форм фосфора и обменного калия – по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91). Статистическую обработку данных учета урожая проводили методом дисперсионного анализа данных двухфакторного опыта, а также линейной корреляции по [3]. Регрессионный анализ проведен в программе STATISTICA.

Почва опытного поля Курганской ГСХА – чернозем выщелоченный малогумусный мало-мощный среднесуглинистый глубоковскипающий, по основным параметрам эффективного плодородия может быть отнесен к окультуренным типам. Сформирован на почвообразующих породах, относящихся к желто-бурым карбонатным суглинкам четвертичного возраста, элювиального происхождения. Содержание гумуса – 4.63%,  $pH_{KCl}$  5.62, гидролитическая кислотность – 3.2, емкость поглощения – 28.4 мг-экв/100 г почвы. Содержание частиц <0.01 мм – 38.5%. Обеспеченность почвы опытных участков подвижным фосфором – низкая, обменным калием – высокая. Технология возделывания зерновых культур и использованные дозы удобрений соответствуют рекомендованным для данной зоны [14].

Сложившиеся погодные условия вегетационных периодов 2017–2018 гг. в основном можно считать неблагоприятными для пшеницы. В отдельные периоды отмечали обильное выпадение осадков, чередующееся с длительными засушливыми периодами, что не характерно для условий лесостепной зоны Зауралья. В мае 2017 г. среднемесячная температура воздуха была ниже на 0.1°C. Количество осадков составило 164% от среднегодовой нормы. В 2018 г. май был холоднее среднегодовых показателей на 2.9°C, а количество осадков выпало в 1.96 раза больше среднегодовой нормы, что отложило посев 2-й пшеницы на начало июня. Июнь был также холоднее на 1.7°C, а осадков в первой декаде после посева культуры выпало 11% от среднегодовой нормы, в целом за месяц выпало 72.9% от нормы. Июль и август характеризовались как более теплые, температура была выше среднегодовой на 1.2 и 0.5°C соответственно, но осадков выпало меньше – 59.8 и 91.1% от нормы.

Вегетационный период 2019 г. был холодным в июне и жарким в июле и августе, осадков в июне выпало 83.0% от нормы. Фактическая температура в июне, по данным наблюдений, была равна 16.9°C, отклонение от нормы составило –1.5°C. В июле осадков выпало 67.0% от нормы, отмечены суховеи с 13 по 17 июля. Июль был жарким со средней температурой 21.1°C. Осадки в 186% от нормы выпали в августе, что повлияло на удлинение вегетационного периода.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фосфатный режим неудобренной почвы за годы наблюдений был относительно стабильным. За 3 года исследования содержание подвижного фосфора в контроле менялось от 46 до 48 мг/кг почвы. Ежегодное применение суперфосфата простого повышало количество  $P_2O_5$  в почве на 9 мг/кг (до 56 мг/кг) по сравнению с неудобренным вариантом. Внесение гусяного помета оказало влияние на накопление  $P_2O_5$  в результате минерализации в первые 2 года исследования. В 2019 г. отмечена стабилизация его содержания в почве, а разница с контролем составила 11 мг/кг почвы.

Результаты стационарного опыта показали, что динамика содержания обменного калия во времени была выражена слабо. За период исследования исходное содержание обменного калия в почве соответствовало высокой обеспеченности этим элементом и в варианте без применения удобрений составило 155 мг/кг почвы. На его содержание оказали влияние изменения влажности почвы, состояние дисперсности коллоидной части почвы, вынос калия растениями. Применение помета повысило содержание калия за 3 года исследования на 2–9 мг/кг почвы, что находилось в пределах ошибки метода его определения и подтвердило низкую производственную эффективность применения калийных удобрений в условиях черноземных почв.

В условиях вегетационного периода 2017 г. урожайность пшеницы после пара в варианте без удобрений составила 1.57 т/га, при использовании минеральных удобрений в дозе N20P20 – 1.84 т/га, N40P40 – 1.94 т/га. Прибавки от применения минеральных удобрений составили 17.2–23.6%. На фоне применения гусяного помета 10 т/га урожайность составила 2.11 т/га, при совместном применении органических и минеральных удобрений урожайность была равна 2.35–2.43 т/га, прибавка составила 49.7–54.8% (табл. 1).

Во 2-й год исследования урожайность пшеницы без удобрений была меньше чем в 2017 г. и составила 1.50 т/га, при внесении минеральных удобрений урожайность составила 1.71–1.85 т/га. Последствие органического удобрения в дозе 10 т/га также повысило урожайность культуры до 1.63 т/га. В вариантах с совместным использованием органического и минеральных удобрений урожайность пшеницы была больше контроля на 0.69–0.73 т/га ( $HCP_{05} = 0.07$  т/га).

В среднем за 2 года исследования прибавки урожайности пшеницы от использования минеральных удобрений составили 0.24–0.36, органического удобрения – 0.33, от совместного их ис-

**Таблица 1.** Влияние удобрений на продуктивность севооборота, т/га (Опытное поле КГСХА, 2017–2019 гг.)

Гусиный помет, т/га	Минеральные удобрения, кг/га			Средние вариантов с гусиным пометом
	0	N20P20	N40P40	
1-я пшеница				$HCP_{05} = 0.08$
0	1.57	1.84	1.94	1.78
5	2.03	2.22	2.46	2.24
10	2.11	2.35	2.43	2.30
Средние вариантов с минеральными удобрениями ( $HCP_{05} = 0.08$ )	1.90	2.14	2.28	2.11
$HCP_{05}$ частных средних = 0.13				
2-я пшеница				$HCP_{05} = 0.04$
0	1.50	1.71	1.85	1.69
5	1.57	1.67	1.96	1.73
10	1.63	2.23	2.19	2.02
Средние вариантов с минеральными удобрениями ( $HCP_{05} = 0.04$ )	1.57	1.87	2.00	1.81
$HCP_{05}$ частных средних = 0.07				
Овес				$HCP_{05} = 0.08$
0	1.72	1.92	1.96	1.87
5	1.76	2.16	2.22	2.05
10	1.85	2.35	2.38	2.19
Средние вариантов с минеральными удобрениями ( $HCP_{05} = 0.08$ )	1.78	2.14	2.19	2.04
$HCP_{05}$ частных средних = 0.10				
Зерновые единицы, среднее за 3 года				
0	1.48	1.70	1.79	1.66
5	1.67	1.87	2.07	1.87
10	1.74	2.15	2.17	2.02
Средние вариантов с минеральными удобрениями	1.63	1.91	2.01	1.85

пользования – 0.75–0.77 т/га. Прибавка урожайности изученных в опыте зерновых культур от примененных доз удобрений была существенной по сравнению с контролем. В то же время, увеличение дозы гусиного помета с 5 до 10 т/га не вызвало достоверного роста урожайности 1-й пшеницы ( $HCP_{05\text{помета}} = 0.08$  т/га), а двойная доза минерального удобрения (N40P40) не оказала существенного влияния на урожайность овса ( $HCP_{05\text{мин. удобр}} = 0.08$  т/га) в сравнении с одинарной дозой N20P20.

Последствие органического удобрения в дозе 5 т/га не оказывало существенного влияния на урожайность овса ( $HCP_{05} = 0.10$  т/га). В остальных вариантах опыта применение минеральных удоб-

рений на фоне птичьего помета показало существенную прибавку урожайности.

Доказуемые различия между действием всех доз гусиного помета, примененного отдельно от минерального удобрения, были отмечены только для 1-й пшеницы ( $HCP_{05}$  частных различий = 0.13 т/га). Увеличение дозы помета с 5 до 10 т/га не существенно повысило урожайность 2-й пшеницы ( $HCP_{05}$  частных различий = 0.07 т/га). Урожайность овса достоверно увеличивалась при последствии помета только при внесении его совместно с минеральным удобрением ( $HCP_{05}$  частных различий = 0.10 т/га). Видимо, на 3-й год действия помет в значительной степени утерл свою питательную способность.

**Таблица 2.** Вынос и поступление элементов питания растений за ротацию севооборота (Опытное поле КГСХА, 2017–2019 гг.)

Вариант	Поступление с удобрениями, кг/га			Суммарный вынос за ротацию, кг/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Контроль без удобрений	–	–	–	104	52.0	118
2. N20P20	60.0	60.0	–	124	62.7	132
3. N40P40	120	120.0	–	131	68.0	137
4. Гусиный помет 5 т/га	60.2	28.5	20.6	131	62.5	133
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	120	88.5	20.6	150	71.3	142
6. Гусиный помет 5 т/га N40P40	180	149	20.6	166	78.6	151
7. Гусиный помет 10 т/га	120	57.0	41.2	154	69.3	149
8. Гусиный помет, 10 т/га + N20P20	180	117	41.2	174	82.4	162
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	240	177	41.2	166	78.3	161

Примечание. Нумерация вариантов та же в табл. 4.

Сравнение действия 2-х доз минерального удобрения между собой при возделывании 1-й пшеницы показало достоверное повышение урожайности только при использовании его совместно с пометом. Для 2-й пшеницы именно на фоне применения гусиного помета 10 т/га удвоение дозы минерального удобрения не вызвало существенного отклика культуры. Третья культура севооборота (овес) вообще слабо отреагировала на двойную дозу минерального удобрения в сравнении с одинарной как отдельно, так и на фоне внесения гусиного помета.

За 3 года исследования суммарная продуктивность севооборота при внесении гусиного помета и минерального удобрения повышалась, но удвоение дозы с N20P20 до N40P40 оказало наименьшее воздействие на возделываемые культуры. По всей видимости, питательный режим выщелоченного чернозема был недостаточен для возделывания зерновых культур при внесении N20P20 отдельно или совместно с перепревшим гусиным пометом в количестве 5 и 10 т/га.

В целом за ротацию севооборота в варианте без удобрений получено 4.45 т з.е./га. Применение смеси аммиачной селитры и суперфосфата увеличивало продуктивность севооборота до 5.36 т з.е. или в среднем на 14.9–21.0%. Создание благоприятных условий в результате совместного применения органических и минеральных удобрений позволило получить наибольший сбор з.е. в севообороте – продуктивность повысилась до 6.52 т з.е., а средняя составила 2.17 т з.е./га, что больше контроля на 46.6%.

Содержание минеральных веществ в растениях определяется в основном их биологическими особенностями, почвенно-климатическими условия-

ми произрастания и уровнем минерального питания. Внесение минеральных удобрений в опыте увеличивало вынос элементов питания. Химический состав растений, возделываемых в опыте, изменялся в зависимости от видов внесенных удобрений в широких пределах. Повышение содержания азота, фосфора и калия как в основной, так и в побочной продукции, отмечено при использовании минеральных удобрений.

Вынос элементов питания за ротацию севооборота определялся урожаем культур и химическим составом растений. Его величина составила в контрольном варианте: азота – 105, фосфора – 52.0, калия – 118 кг/га. При ежегодном внесении азотных и фосфорных удобрений в дозе 40 кг д.в./га вынос элементов увеличивался соответственно на 26.8 кг N и 16.0 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Наибольшим он был при внесении гусиного помета 10 т/га + N20P20 (табл. 2).

При увеличении доз удобрений отмечен положительный баланс соответствующих элементов. Особенно это заметно при внесении фосфорных удобрений – баланс фосфора становился положительным при увеличении доз суперфосфата (вариант 3), что свидетельствовало о его благоприятном влиянии на фосфатный режим почвы.

Примененные удобрения по-разному влияли на хозяйственный баланс элементов питания в севообороте. Например, ежегодная доза N40 компенсировала вынос азота только на 91.5%. При этом дефицит элемента составил 11.2 кг/га. Внесение суперфосфата в той же дозе привело к положительному балансу фосфора в севообороте – компенсация выноса составила 176%.

Коэффициенты использования элементов питания из удобрений, рассчитанные разностным

**Таблица 3.** Хозяйственный баланс и коэффициенты использования элементов из удобрений (Опытное поле КГСХА, 2017–2019 гг.)

Вариант	Баланс ±, кг/га		Коэффициент использования из удобрений, %	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1. Контроль без удобрений	–104	–52.0	–	–
2. N20P20	–64.0	–2.7	32.7	17.8
3. N40P40	–11.2	52.0	22.3	13.3
4. Гусиный помет 5 т/га	–70.4	–34.0	43.5	26.3
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	–30.0	17.2	38.1	21.8
6. Гусиный помет 5 т/га + N40P40	14.2	69.9	34.2	17.9
7. Гусиный помет 10 т/га	–33.4	–12.3	41.0	30.4
8. Гусиный помет 10 т/га + N20P20	6.2	34.6	38.7	26.0
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	74.7	98.7	25.5	14.9

методом при совместном внесении минеральных удобрений (N20P20) и помета (5 т/га) составили 38.1 (N), 21.8% (P). Наиболее высокий коэффициент использования азота был при применении помета в дозе 5 т/га – 43.5%. Это связано с хорошим последствием помета, оно было эффективнее по сравнению с минеральными удобрениями, т.к. часть азота в почве находится в органической форме и постепенно переходит в доступное для растений состояние.

В то же время с увеличением доз минеральных удобрений наблюдали снижение коэффициентов использования культурами азота и фосфора. Коэффициент использования фосфора из суперфосфата был равен 17.8% в варианте с применением N20P20, в варианте применения помета в дозе 10 т/га – 26.0%. Внесение суперфосфата в дозе P40 обеспечивало положительный баланс фосфора, при этом коэффициент использования питательных элементов за ротацию севооборота составил 13.3%. Такой коэффициент свидетельствовал о слабом усвоении фосфатов растениями из-за неблагоприятных погодных условий. Большая часть фосфора в гусином помете представлена органическими соединениями, слабо закрепляющимися в почве в виде фосфатов Fe, Al и Ca, и по мере минерализации органического вещества усваивалась растениями. Поэтому фосфор помета усваивался лучше по сравнению с фосфором минеральных удобрений (табл. 3).

Повышение уровня минерального питания в вариантах с сочетанием органических и минеральных удобрений способствовало процессу формирования биомассы и тем самым – активному накоплению калия в основной и побочной продукции, при этом в данный процесс был вовлечен как почвенный калий, так и из гусиного

помета, при этом коэффициент его использования превысил 100%. На наш взгляд, это может происходить в условиях тех почв, где не отмечен дефицит элемента питания, а фонд его подвижных форм достаточно высок. Таковыми являются черноземные почвы Зауралья, а полученный результат расчета подтверждает, что содержание K<sub>2</sub>O в них не лимитирует биопродуктивность культурных растений. Использование питательных веществ из удобрений изменялось в широких пределах и было обусловлено в основном дозами внесенных удобрений.

Для выявления существующих зависимостей между изученными показателями была составлена корреляционная матрица (табл. 4). Подтверждены парные линейные корреляционные зависимости практически между всеми показателями. Регрессионный анализ зависимости средней продуктивности севооборота за 2017–2019 гг. от среднего содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия при применении минеральных и органических удобрений показал наличие прямой линейной множественной зависимости (рис. 1). Выявленная зависимость выражается уравнением регрессии (1):

$$Y = -1.9657 + 0.029X_1 + 0.0134X_2, \quad (1)$$

где  $Y$  – средняя продуктивность севооборота за 2017–2019 гг., т з.е./га,  $X_1$  – среднее содержание подвижного фосфора в почве, мг/кг,  $X_2$  – среднее содержание обменного калия в почве, мг/кг.

Сопоставление фактических и расчетных данных средней продуктивности севооборота показало различия >5% в 4-х вариантах из 9-ти (табл. 5).

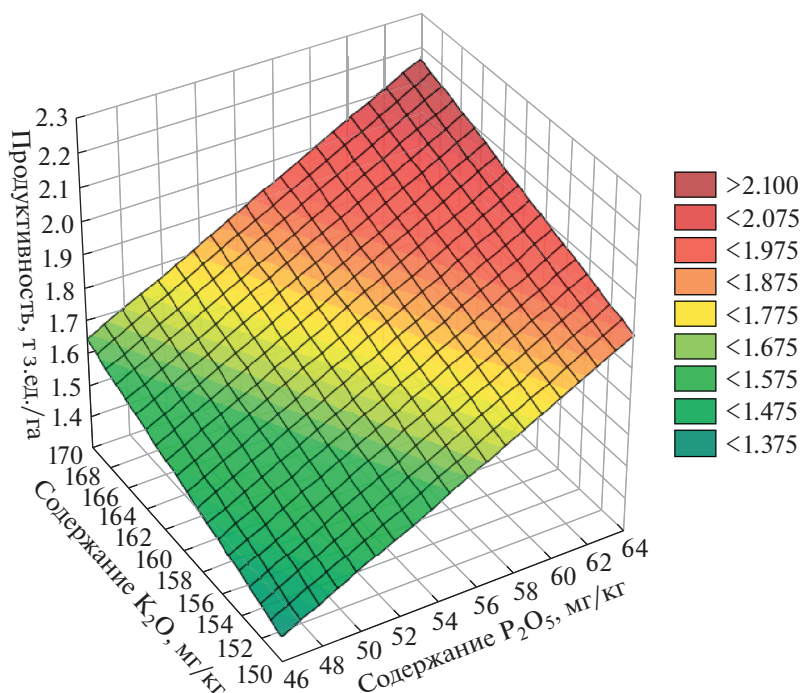
**Таблица 4.** Корреляционная матрица изученных показателей в опыте

Показатель	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поступление азота с удобрениями, кг/га	–								
Поступление фосфора с удобрениями, кг/га	0.94	–							
Поступление калия с удобрениями, кг/га	0.71	0.43	–						
Среднее содержание подвижного фосфора, мг/кг	0.90	0.82	0.71	–					
Среднее содержание обменного калия, мг/кг	0.87	0.68	0.91	0.81	–				
Средняя продуктивность севооборота, т з.е./га	0.96	0.91	0.66	0.89	0.84	–			
Коэффициент использования азота удобрений, %	0.36	0.21	0.54	0.63	0.34	0.38	–		
Коэффициент использования фосфора удобрений, %	0.34	0.12	0.64	0.57	0.39	0.33	0.96	–	
Коэффициент использования калия удобрений, %	0.70	0.56	0.70	0.81	0.81	0.74	0.55	0.48	–

Регрессионный анализ зависимости суммарной продуктивности севооборота за 2017–2019 гг. от количества внесенных за 3 года минеральных и органических удобрений в пересчете на действующее вещество показал наличие прямой линей-

ной множественной зависимости (рис. 2). Выявленная зависимость выражена уравнением регрессии (2):

$$Y = 4.4311 + 0.0047X_1 + 0.005X_2, \quad (2)$$



**Рис. 1.** Зависимость средней продуктивности севооборота (т з.е./га) от содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия, мг/кг.

Таблица 5. Верификация уравнения регрессии (1)

Вариант	$X_1$	$X_2$	$Y_{\text{факт}}$	$Y_{\text{расч}}$	Отклонение	
					т/га	%
1. Контроль без удобрений	47	155	1.48	1.47	-0.01	0.39
2. N20P20	54	152	1.70	1.64	-0.06	3.70
3. N40P40	56	156	1.79	1.75	-0.04	2.31
4. Гусиный помет 5 т/га	55	157	1.67	1.73	0.06	3.78
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	62	162	1.87	2.00	0.13	7.12
6. Гусиный помет 5 т/га + N40P40	61	164	2.07	2.00	-0.07	3.34
7. Гусиный помет 10 т/га	58	164	1.74	1.91	0.17	9.99
8. Гусиный помет 10 т/га + N20P20	61	167	2.15	2.04	-0.11	5.07
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	53	169	2.17	1.84	-0.33	15.4

где  $Y$  – общая продуктивность севооборота за 2017–2019 гг., т з.е./га,  $X_1$  – доза минеральных удобрений за 3 года, кг д.в./га,  $X_2$  – норма птичьего помета, кг д.в./га.

Сопоставление фактических и расчетных данных средней продуктивности севооборота показало различия >5% только в 2-х вариантах из 9-ти (табл. 6).

Выявленные зависимости позволили прогнозировать продуктивность зернопарового севооборота при использовании птичьего помета и минеральных удобрений с учетом содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве.

В целом за 3 года применения органо-минеральной системы удобрения продуктивность зернопарового севооборота находилась на достаточно низком уровне. На наш взгляд, этому способствовали складывающиеся погодные условия в периоды роста и развития зерновых культур в годы проведения исследования, которые были отмечены как не благоприятные и не характерные для центральной черноземной зоны Зауралья. Косвенным подтверждением этого были достаточно низкие коэффициенты использования азота как из минеральных удобрений, так и из органических. Их величины не превышали 43.5%, а в

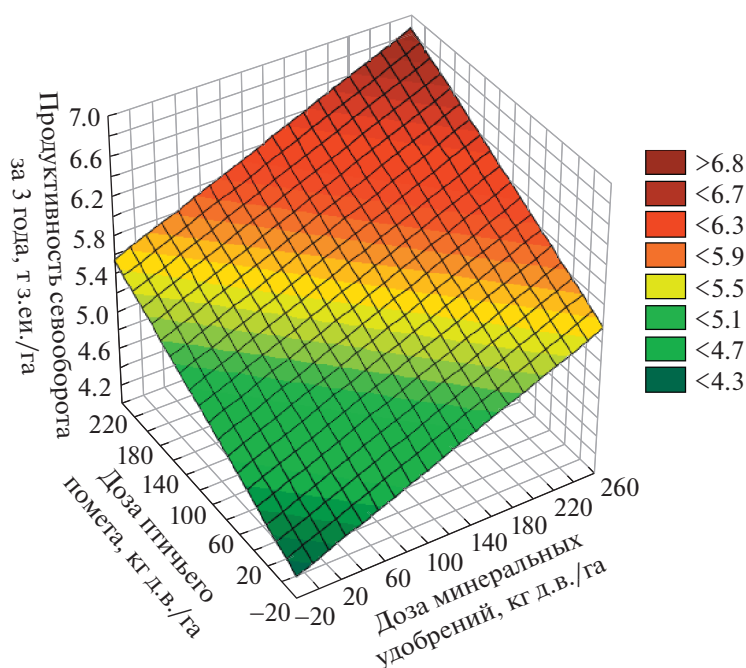


Рис. 2. Зависимость общей продуктивности севооборота за 3 года, т з.е./га от доз минеральных удобрений и птичьего помета, кг д.в./га.



Таблица 6. Верификация уравнения регрессии (2)

Вариант	$X_1$	$X_2$	$Y_{\text{факт}}$	$Y_{\text{расч}}$	Отклонение	
					т/га	%
1. Контроль без удобрений	0	0	4.45	4.43	-0.02	0.42
2. N20P20	120	0	5.09	5.00	-0.09	1.86
3. N40P40	240	0	5.36	5.56	0.20	3.71
4. Гусиный помет 5 т/га	0	109.3	5.01	4.98	-0.03	0.65
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	120	109.3	5.62	5.54	-0.08	1.40
6. Гусиный помет 5 т/га + N40P40	240	109.3	6.20	6.11	-0.09	1.52
7. Гусиный помет 10 т/га	0	218.6	5.22	5.52	0.30	5.83
8. Гусиный помет 10 т/га + N20P20	120	218.6	6.46	6.09	-0.37	5.76
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	240	218.6	6.52	6.65	0.13	2.03

ряде вариантов находились на уровне 22–25%. Это свидетельствовало о том, что процесс минерализации органических веществ гусиного помета и высвобождение минерального азота из азотных удобрений проходил с низкой интенсивностью. При этом в сопутствующих наблюдениях отметили значительное снижение микробиологической активности, причем во все годы температурный режим и водный баланс складывались таким образом, что в составе минеральных форм азота преобладали аммонийный азот, что не характерно для черноземной зоны Зауралья.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что урожайность зерновых культур за ротацию зернопарового севооборота в варианте без применения удобрений была достаточно низкой и составила 1.48 т з.е./га, при использовании минеральных удобрений в дозах N20–40 и P20–40 она увеличилась до 1.70–1.79 т/га. Сочетание органических и минеральных удобрений позволило поднять продуктивность до 2.07–2.17 т/га, что составило 140–147% относительно контроля. Это свидетельствовало о том, что даже в не благоприятных погодных условиях при применении органо-минеральной системы удобрения этот технологический прием остается эффективным и позволяет значительно повысить продуктивность пашни.

За 3 года исследования отмечена стабилизация в формировании фонда доступных форм элементов питания растений. При ежегодном внесении N40P40 на фоне применения гусиного помета 10 т/га содержание  $P_2O_5$  составило 63 мг/кг относительно 47 мг/кг в контроле. Содержание  $K_2O$  в черноземных почвах Зауралья находится на достаточно высоком уровне, но применение орга-

нического удобрения в виде перепревшего гусиного помета способствовало его увеличению, применению повышенной дозы органического удобрения. За 3 года содержание обменного калия выросло относительно контроля на 9%.

Сочетание органических и минеральных удобрений способствовало более полному использованию элементов питания зерновыми культурами относительно вариантов применения минеральных форм, но максимальный коэффициент использования азота отмечен в вариантах с внесением гусиного помета: он составил 41.0–43.5%. Наиболее интенсивное использование фосфора удобрений зерновыми культурами отмечено в варианте с внесением гусиного помета 10 т/га, коэффициент использования достиг 30.4%. При этом наиболее низкие величины данного показателя отмечены в вариантах с применением минеральных удобрений в чистом виде.

Выявленные зависимости позволили прогнозировать продуктивность зернопарового севооборота при использовании птичьего помета и минеральных удобрений с учетом содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Н.В.* Земледелие Западной Сибири. 2 изд. Тюмень: ТГСХА, 2009. 348 с.
2. *Аристархов А.Н.* Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 522 с.
3. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. *Егоров В.П., Кривонос Л.А.* Почвы Курганской области. Курган: Изд-во "Зауралье", 1995. 176 с.
5. *Еремин Д.И., Уфимцева М.Г.* Рациональное применение минеральных удобрений как фактор экологической безопасности агроценозов // Аграр. вестн. Урала. 2013. № 12 (118). С. 63–66.

6. *Кидин В.В.* Органические удобрения. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. 166 с.
7. *Кидин В.В.* Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. 412 с.
8. *Кузнецов П.И., Егоров В.П.* Научные основы экологизации земледелия в лесостепи Зауралья. Курган: Изд-во “Зауралье”, 2001. 366 с.
9. *Панников В.Д., Минеев В.Г.* Почва, климат, удобрения и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
10. *Петербургский А.В.* Агрохимия и физиология питания растений. М.: Россельхозиздат, 1981. 184 с.
11. *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.
12. *Синявский И.В., Чиняева Ю.З., Калганов А.А.* Последствие минеральных и органо-минеральных удобрений на микрофлору почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях северной лесостепи Зауралья // Изв. Высш. уч. заведений. Урал. регион. 2017. № 1. С. 110–117.
13. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Курганской области / Под ред. Иванова А.Л. Куртамыш: Куртамышская типография, 2012. 494 с.
14. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / Под ред. Волынкиной О.В. Куртамыш: Куртамышская типография, 2017. 284 с.
15. *Созинов А.В., Горбунов М.Ю.* Методология мониторинга подвижных форм азота и фосфора в черноземе выщелоченном // Вестн. Курган. ГСХА. 2013. № 1 (5). С. 24–26.
16. *Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Бондарева Т.Н., Кузнецов С.В.* Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимализации. М.: ВНИИА, 2012. 351 с.

## **Influence of Rotted Goose Droppings and Mineral Fertilizers on the Productivity of Grain-Steam Crop Rotation in the Conditions of the Forest-Steppe Zone of the Trans-Urals**

**I. V. Sinyavskiy<sup>a,#</sup>, A.M. Plotnikov<sup>b</sup>, and A.V. Sozinov<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *South-Ural State Agrarian University*

*ul. Gagarina 13, Chelyabinsk region, Troitsk 457100, Russia*

<sup>b</sup> *T. S. Maltsev Kurgan State Agricultural Academy, KGSHA*

*Kurgan region, Ketovsky district, s. Lesnikovo 641300, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: tvj\_t@sursau.ru*

The influence of combinations of bird droppings and mineral fertilizers on the yield of grain crops in the grain-steam crop rotation on the leached chernozem of the forest-steppe Trans-Urals was studied. It is shown that this technique allowed to significantly increase the productivity of arable land. On average, over the 3 years of the study, the combination of organic and mineral fertilizers determined the crop rotation productivity of 2.07–2.17 t/ha, which was 140–147% relative to the control variant. The stabilization in the formation of the fund of available forms of plant nutrition elements was also noted. The annual application of fertilizers at a dose of N40P40 against the background of goose droppings of 10 t/ha contributed to an increase in the content of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in the soil from 47 to 63 mg/kg relative to the control. The content of exchangeable potassium increased by 9% relative to the control. The coefficient of nitrogen use of fertilizers in the variants with the introduction of goose droppings was 41.0–43.5, phosphorus – 26.3–30.4%.

*Key words:* goose droppings, fertilizers, agrochemical properties of the soil, yield, grain crops, leached chernozem, crop rotation.