

УДК 631.81:631.559:631.582

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И ВЫНОС ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕРНОПАРОСИДЕРАЛЬНОМ СЕВООБОРОТЕ¹

© 2021 г. П. А. Постников^{1,*}, В. В. Попова¹

¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН
620142 Екатеринбург, ул. Белинского, 112-а, а/я 269, Россия

*E-mail: postnikov.ural@mail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2020 г.

После доработки 06.10.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2021 г.

В длительном опыте на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве в зернопаросидеральном севообороте (сидеральный пар—пшеница—овес—горох—ячмень) установлено, что запашка рапса в паровом поле на окультуренной почве даже без применения минеральных удобрений обеспечила получение урожайности яровых зерновых в среднем за ротацию севооборота на уровне 2.3–2.4 т/га. Органо-минеральные фоны питания способствовали дополнительному сбору зерна на уровне 0.58–1.37 т/га. Увеличение урожайности выращиваемых культур в севообороте при применении минеральных и органических удобрений и повышение содержания макроэлементов в растительной продукции существенно увеличили общий вынос элементов питания урожаем по сравнению с органическим фоном питания. При возделывании современных сортов зерновых и зернобобовых культур с более высокой потенциальной урожайностью выявлено снижение хозяйственного выноса макроэлементов на единицу продукции по сравнению с нормативными показателями.

Ключевые слова: севооборот, минеральные и органические удобрения, сидерат, азот, фосфор, калий, урожайность, вынос элементов питания.

DOI: 10.31857/S000218812104013X

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей целью продовольственной безопасности РФ является надежное обеспечение населения в достаточном количестве качественной сельскохозяйственной продукцией. Большое значение придается производству продовольственного и фуражного зерна. В условиях Свердловской обл. зерновые и зернобобовые культуры в структуре посевных площадей занимают ≈43% [1], при этом урожайность зерновых культур за 2016–2018 гг. составила в среднем ≈2.0 т/га. Дальнейшее повышение сбора зерна должно осуществляться через освоение севооборотов по типу плодосмена и внедрения приемов биологизации земледелия [2–5].

Для получения стабильных урожаев зерновых культур в севооборотах необходимо определить рациональные системы удобрения, которые бы учитывали почвенно-климатические условия и биологические особенности сельскохозяйственных культур. В современном земледелии, когда объемы применения минеральных и органических удобрений существенно снизились, важно уточнить нормативные показатели выноса питательных элементов урожаем культур. В полевых опытах подтверждено [6–9], что с появлением новых сортов зерновых культур, обладающих более высокой потенциальной урожайностью, показатели выноса на 1 т продукции в настоящее время отличаются от нормативных данных. Поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на получение новой информации и обобщение материала для разработки нормативной базы для расчета доз удобрения на планируемый урожай. При этом заметную роль играет Географическая сеть опытов с удобрениями, где обобщают опытные данные из различных почвенно-климатических зон РФ [10].

¹ Исследование выполнено в Уральском научно-исследовательском институте сельского хозяйства — филиале УрФАНИЦ УрО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по направлению 142 Программы ФНИ государственных академий наук по теме “Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимализации обработки почвы, диверсификации севооборотов, интегрированной защиты растений, биологизации, сохранения и повышения почвенного плодородия”.

Цель работы — выявить воздействие минеральных и органических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и вынос питательных элементов основной и побочной продукции в зернопаросидеральном севообороте.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

С 2001 г. в стационарном длительном опыте изучают полевые севообороты с максимальной ориентацией на биологические факторы. В 3-й ротации зернопаросидеральный севооборот был заложен по следующей схеме: сидеральный пар (рапс)—пшеница—овес—горох—ячмень. Чередование культур за ротацию осуществлялось во времени и пространстве.

Почва опытного участка — типичная темно-серая лесная тяжелосуглинистая со следующими агрохимическими показателями в пахотном слое: содержание гумуса (по Тюрину) — 4.84–5.07%, легкогидролизуемого азота (по Корнфилду) — 146–168 мг/кг почвы, подвижного фосфора — 206–248 мг/кг почвы и калия (по Кирсанову в модификации ЦИНАО) — 138–172 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (по Каппену) — 31.1–32.5 ммоль/100 г почвы, pH_{KCl} (по методу ЦИНАО) — 4.97–5.09.

Схема опыта в севообороте включала 3 фона питания: 1 — органический (без минеральных удобрений) с запашкой зеленой массы рапса в паровом поле, 2 — органо-минеральный с применением умеренных доз минеральных удобрений из расчета на 1 га севооборотной площади $N_{30}P_{30}K_{36}$ + сидерат, 3 — органо-минеральный с использованием сидерата, соломы (гороха, ячменя) на фоне минеральных удобрений $N_{24}P_{24}K_{24}$.

В качестве удобрения использовали АЗФК с содержанием каждого элемента по 15% д.в. На 3-м фоне питания дозу минеральных удобрений корректировали с учетом поступления азота, фосфора и калия с сидератом и соломой. В среднем за ротацию севооборота на обоих фонах питания с минеральными и органическими удобрениями на 1 га пашни поступило 140 кг NPK, из них на 2-м фоне с сидератом — N22, в третьем с сидератами, соломой — N28. Из-за большего поступления калия с соломой для выравнивания соотношения элементов питания на 2-м фоне питания дополнительно вносили хлористый калий в дозе K30. Минеральные удобрения перед посевом врезали в почву сеялкой СН-16. В паровом поле зеленую массу рапса запахивали на сидерат, в среднем за 2011–2015 гг. его урожайность в зависимости от удобренности почвы варьировала от 13.4 до 23.4 т/га. Из фактического урожая культур вносили солому гороха — в среднем за ротацию ≈ 2.5 и ячменя — 3.9 т/га.

Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте общепринятая для Среднего Урала. Объектами исследования были следующие районированные сорта культур: яровой рапс — Луч, яровая пшеница — Красноуфимская 100, овес — Стайер, горох — Красноуфимский 11, яровой ячмень — Сонет [11].

Для определения содержания питательных элементов в зерне и соломе при учете урожая с делянок отобраны растительные пробы. Химические анализы выполнены в аналитической лаборатории по стандартным методикам: азот общий (ГОСТ 32044.1-2012), P_2O_5 (ГОСТ 266657-97), K_2O (ГОСТ 30504-97).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возделывание рапса в паровом поле на окультуренной темно-серой почве даже без применения минеральных удобрений обеспечило формирование зеленой массы > 10 т/га, при внесении их умеренных доз урожайность крестоцветной культуры возросла в 1.6–1.7 раза по отношению к органическому фону питания (табл. 1).

Из всех изученных зерновых культур за ротацию севооборота наибольшая урожайность была у яровой пшеницы, данная закономерность отмечена при всех системах удобрения. Запашка зеленой массы рапса в паровом поле способствовала поступлению с 1 т ≈ 4.8 кг азота (N), фосфора (P_2O_5) — 1.3 и калия (K_2O) — 5.1 кг. Обогащение пахотного слоя свежей органической массой и легкодоступными питательными элементами обеспечило улучшение питательного режима темно-серой почвы, в первую очередь — увеличение содержания минерального азота [1]. Благодаря повышению доступности элементов питания в почве, проявилась высокая эффективность сидерального пара как предшественника.

В последствии на овсе была получена достаточно высокая урожайность зернофуражной культуры, достоверных различий в урожайности по отношению к пшенице на органо-минеральных фонах питания не выявлено.

Из-за биологических особенностей горох обеспечил наименьший сбор зерна как при внесении сидерата, так и его сочетания с минеральными удобрениями. Анализ урожайных данных ячменя показал, что зернобобовая культура по воздействию как предшественник практически не уступала сидеральному пару, а при органо-минеральных системах удобрения — повышала сбор зерна ячменя на 0.08–0.21 т/га.

В целом уровень урожайности сельскохозяйственных культур за ротацию севооборота во многом зависел от погодных условий и примене-

Таблица 1. Продуктивность культур севооборота в зависимости от систем удобрения (средние за 2011–2015 гг.), т/га

Фон питания	Культуры					Суммарная продуктивность	
	рапс	пшеница	овес	горох	ячмень	всего	на 1 га
Органический (сидерат)	13.4	<u>2.38</u>	<u>2.34</u>	<u>1.78</u>	<u>2.29</u>	<u>8.79*</u>	<u>1.76</u>
		3.21	2.75	1.75	2.43	10.1	2.02
Органо-минеральный (N30P30K36 + сидерат)	23.4	<u>3.58</u>	<u>3.44</u>	<u>2.36</u>	<u>3.66</u>	<u>13.0</u>	<u>2.60</u>
		4.87	4.04	2.67	3.78	15.3	3.06
Органо-минеральный (N24P24K24 + сидерат + солома)	21.0	<u>3.56</u>	<u>3.36</u>	<u>2.58</u>	<u>3.77</u>	<u>13.3</u>	<u>2.65</u>
		4.83	3.96	2.51	3.89	15.3	3.06
HCP ₀₅ культура	—	<u>0.37</u> 0.48				—	—
HCP ₀₅ удобрения	—	<u>0.32</u> 0.41				—	—

Примечание. Над чертой — урожайность основной продукции, под чертой — побочной (соломы). То же в табл. 2–4.

*Суммарный сбор зерна и соломы за ротацию севооборота.

ния удобрений. Дисперсионный анализ урожайных данных показал, что на долю погоды приходилось 31% влияния, на удобрения — 29, на другие факторы — 30%. Из всех лет наблюдений максимальный сбор зерна отмечен в умеренно-влажных условиях в 2011 г., наименьший — при засухе в 2012 г., избыточно влажные годы по урожайности зерновых и зернобобовых занимали промежуточное положение.

При сочетании минеральных удобрений с сидератом и соломой дополнительный сбор зерна по отношению к органическому фону питания варьировал в пределах от 0.58 до 1.48 т/га. По отдаче от минеральных и органических удобрений культуры севооборота по мере убывания можно расположить в следующем порядке: ячмень > пшеница > овес > горох.

При сочетании минеральных и органических удобрений (N24P24K24 + сидерат + солома), несмотря на уменьшение дозы удобрений и внесение соломы во 2-й ротации, в 3-й ротации севооборота не выявлено снижения урожайности зерновых культур. Это свидетельствовало о том, что в короткоротационных севооборотах при запашке сидерата в паровом поле и поступлении биологического азота с зернобобовой культурой появлялась возможность снижения доз минеральных удобрений, что важно в плане ресурсосбережения в земледелии.

Сбор побочной продукции во многом зависел от величины урожайности культуры и соотношения между соломой и зерном. Усредненные данные за ротацию зернопаросидерального севооборота свидетельствовали, что у ячменя и гороха соотношение между соломой и зерном в

зависимости от условий увлажнения варьировало от 0.8 до 1.1, минимальным оно было при засухе 2012 г. Для пшеницы и овса соотношение между соломой и зерном было шире, в среднем 1.16–1.2, благодаря этому у данных культур достигнут наибольший сбор побочной продукции.

Усредненные данные химического состава зерна показали, что максимальное содержание азота отмечено в горохе, яровые зерновые по этому показателю существенно уступали зернобобовой культуре (табл. 2). В зерне яровой пшеницы накопление N существенно превышало ячмень и овес.

При сочетании минеральных и органических удобрений выявлено увеличение содержания азота в основной продукции по отношению к органическому фону питания. Применение удобрений в дозе N30P30K36 достоверно увеличивало накопление N в зерне пшеницы и ячменя. При снижении дозы минеральных удобрений отмечено уменьшение содержания общего азота.

В процессе формирования и налива зерна происходит перераспределение азота в растении, основная его часть остается в зерновой продукции. По химическому составу наиболее богата азотом солома гороха, наименьшее его содержание — в овсе. При использовании органических и минеральных удобрений существенно возрастало накопление N в соломе культур по отношению к органическому фону питания.

При применении сидерата накопление фосфора в зерне яровых зерновых культур в меньшей степени зависело от их биологических особенностей, было несколько меньше в зерне овса. При сочетании органических и минеральных удобрений выявлено повышение содержания

Таблица 2. Содержание азота, фосфора и калия в основной и побочной продукции (2011–2015 гг.), % на сухое вещество

Фон питания	Культуры				
	рапс	пшеница	овес	горох	ячмень
N					
Сидерат	2.25	<u>2.23</u> 0.54	<u>1.89</u> 0.40	<u>3.63</u> 0.89	<u>1.79</u> 0.59
N30P30K36 + сидерат	2.68	<u>2.54</u> 0.64	<u>2.09</u> 0.52	<u>3.80</u> 1.09	<u>2.02</u> 0.76
N24P24K24 + + сидерат + солома	2.62	<u>2.41</u> 0.67	<u>2.04</u> 0.48	<u>3.73</u> 1.04	<u>1.96</u> 0.68
HCP ₀₅ культура			<u>0.28</u> 0.10		
HCP ₀₅ удобрения			<u>0.22</u> 0.09		
P ₂ O ₅					
Сидерат	0.70	<u>1.03</u> 0.18	<u>0.92</u> 0.36	<u>1.01</u> 0.28	<u>1.01</u> 0.32
N30P30K36 + сидерат	0.88	<u>1.10</u> 0.27	<u>1.02</u> 0.38	<u>1.16</u> 0.32	<u>1.07</u> 0.39
N24P24K24 + + сидерат + солома	0.80	<u>1.06</u> 0.28	<u>0.99</u> 0.38	<u>1.22</u> 0.29	<u>1.04</u> 0.35
HCP ₀₅ культура			<u>0.09</u> 0.07		
HCP ₀₅ удобрения			<u>0.07</u> 0.06		
K ₂ O					
Сидерат	2.67	<u>0.58</u> 0.91	<u>0.53</u> 1.40	<u>0.94</u> 0.84	<u>0.66</u> 0.99
N30P30K36 + сидерат	3.10	<u>0.61</u> 1.18	<u>0.62</u> 1.62	<u>1.04</u> 1.00	<u>0.72</u> 1.26
N24P24K24 + + сидерат + солома	2.98	<u>0.61</u> 1.08	<u>0.58</u> 1.63	<u>1.04</u> 0.96	<u>0.72</u> 1.18
HCP ₀₅ культура			<u>0.23</u> 0.25		
HCP ₀₅ удобрения			<u>0.18</u> 0.20		

P₂O₅ в основной продукции, при этом достоверно возросло накопление данного элемента только в зерне гороха и овса. Независимо от фона питания меньше содержалось фосфора в соломе яровой пшеницы, больше – в побочной продукции овса и ячменя. Следует отметить, что применение минеральных удобрений существенно увеличило

содержание данного элемента питания в соломе пшеницы, для других культур различия между удобренными вариантами находились в пределах наименьшей существенной разницы.

В отличие от других макроэлементов наибольшее накопление K₂O отмечено в соломе. По химическому составу наиболее богата калием солома овса, меньше всего – гороха. Наибольшее содержание калия в зерне отмечено у гороха, для других культур достоверных различий не выявлено. Внесение минеральных удобрений в дозе N30P30K36 достоверно увеличивало содержание K₂O в соломе яровых зерновых культур в отличие от гороха. На органо-минеральных фонах питания отмечено увеличение накопления калия в соломе овса и ячменя, в то же время содержание калия в основной продукции пшеницы и ячменя при этих системах удобрения практически не отличалось от органической системы.

При обобщении данных выноса макроэлементов урожаем крестоцветной культуры выявлено, что при использовании минеральных удобрений с увеличением сбора зеленой массы рапса вынос азота увеличился на 37.0–43.7 кг, калия – 39.1–49.3, фосфора – 11.0–14.3 кг/га по сравнению с естественным фоном плодородия темно-серой почвы (табл. 3). Поступление такого количества элементов питания в паровом поле при запашке сидерата способствовало получению достаточно высокой урожайности зерновых культур в течение 2-х лет, о чем говорилось выше.

Усредненные данные за ротацию севооборота показали, что вынос питательных элементов из почвы и удобрений зависел от культуры, величины урожая основной и побочной продукции и их химического состава. В варианте с запашкой сидерата наибольший вынос азота зерном отмечен для гороха, между яровыми зерновыми культурами существенных различий не выявлено. С соломой максимальный вынос N выявлен для пшеницы, наименьший – для овса. На органо-минеральных фонах питания отчуждение азота основной продукцией увеличилось на 21.0–37.7 кг, с соломой – на 9.3–13.7 кг/га по отношению к органическому фону.

Из всех изученных культур в севообороте при органической системе удобрения наименьший вынос фосфора с зерном отмечен у ячменя, солома зернобобовой культуры данный элемент питания выносила меньше по сравнению с яровыми зерновыми. По отношению к органическому фону питания сочетание минеральных и органических удобрений увеличило отчуждение P₂O₅ соломой овса и пшеницы на 4.2–7.0 кг/га.

Из-за невысокого содержания калия в зерне вынос данного макроэлемента при запашке сиде-

Таблица 3. Вынос элементов питания урожаем культур в севообороте в зависимости от систем удобрения (2011–2015 гг.), кг/га

Фон питания	Культура					Вынос за ротацию	
	рапс	пшеница	овес	горох	ячмень	всего	на 1 га
N							
Сидерат	41.7	<u>39.7</u> 14.3	<u>37.2</u> 8.96	<u>54.0</u> 12.6	<u>35.3</u> 11.5	<u>166*</u> 47.4	<u>33.2</u> 9.5
N30P30K36 + сидерат	85.4	<u>77.4</u> 26.1	<u>61.9</u> 17.4	<u>76.6</u> 24.3	<u>62.8</u> 22.6	<u>279</u> 89.9	<u>55.7</u> 18.0
N24P24K24 + сидерат + солома	78.7	<u>74.3</u> 27.0	<u>58.2</u> 15.5	<u>82.0</u> 22.1	<u>62.6</u> 20.8	<u>277</u> 42.5*	<u>55.4</u> 8.5
HCP ₀₅ культура	8.6						
	4.0						
HCP ₀₅ удобрения	6.7						
	3.5						
P ₂ O ₅							
Сидерат	13.0	<u>20.9</u> 6.29	<u>18.1</u> 8.57	<u>20.0</u> 4.10	<u>13.0</u> 6.42	<u>72.0</u> 24.8	<u>14.4</u> 4.90
N30P30K36 + сидерат	27.3	<u>33.4</u> 10.8	<u>30.2</u> 12.8	<u>23.4</u> 7.12	<u>33.8</u> 13.2	<u>121</u> 43.8	<u>24.2</u> 8.81
N24P24K24 + сидерат + солома	24.0	<u>32.3</u> 10.9	<u>28.7</u> 15.6	<u>26.5</u> 6.23	<u>33.9</u> 11.2	<u>121</u> 26.5	<u>24.2</u> 5.30
HCP ₀₅ культура	3.6						
	3.0						
HCP ₀₅ удобрения	2.8						
	2.6						
K ₂ O							
Сидерат	49.3	<u>11.9</u> 18.6	<u>10.7</u> 28.1	<u>14.2</u> 12.8	<u>13.0</u> 19.5	<u>49.8</u> 79.0	<u>9.96</u> 15.8
N30P30K36 + сидерат	98.7	<u>19.0</u> 32.4	<u>18.5</u> 48.0	<u>23.2</u> 20.3	<u>22.7</u> 39.6	<u>83.4</u> 140	<u>16.7</u> 28.0
N24P24K24 + сидерат + солома	88.4	<u>18.2</u> 32.9	<u>17.2</u> 49.6	<u>24.1</u> 20.1	<u>23.1</u> 40.5	<u>82.6</u> 82.5	<u>16.5</u> 16.5
HCP ₀₅ культура	5.2						
	10						
HCP ₀₅ удобрения	4.0						
	8.9						

*Без учета рапса, запаханного на сидерат, и соломы гороха, ячменя, использованной на удобрение.

рата не превышал 15 кг/га, более высокий вынос калия отмечен у гороха и ячменя. Вынос K₂O побочной продукцией был больше у овса, наименьший — у гороха из-за его низкой продуктивности по сравнению с яровыми зерновыми. Аналогичные закономерности выявлены на органо-минеральных фонах питания.

Независимо от уровня минерального питания суммарный вынос азота основной продукцией на

1 га севооборотной площади увеличился на 22.2–22.5, фосфора — на 9.8, калия — на ≈6.7 кг/га. В то же время отчуждение макроэлементов соломой в варианте N24P24K24 + сидерат + солома за счет запашки побочной продукции практически сравнялось с органической системой удобрения.

Одним из критериев расчета доз минеральных удобрений на планируемый урожай является общий вынос питательных элементов 1 т основной продукции. На органическом фоне питания

Таблица 4. Хозяйственный вынос элементов питания 1 т основной продукции (2011–2015 гг.), кг

Фон питания	Культуры				
	рапс	пшеница	овес	горох	ячмень
N					
Сидерат	3.6	27.6	22.9	46.9	20.0
N30P30K36 + сидерат	3.9	31.8	26.1	51.8	23.4
N24P24K24 + сидерат + солома	4.2	30.8	25.2	50.6	22.4
P ₂ O ₅					
Сидерат	1.1	12.6	12.7	13.0	10.9
N30P30K36 + сидерат	1.3	13.7	14.0	14.7	12.3
N24P24K24 + сидерат + солома	1.2	13.3	13.8	15.3	11.7
K ₂ O					
Сидерат	4.2	14.9	19.6	23.2	14.9
N30P30K36 + сидерат	4.6	17.2	22.4	25.6	17.9
N24P24K24 + сидерат + солома	4.5	16.9	22.1	24.7	17.7

(без минеральных удобрений) вынос азота 1 т зерна в зависимости от выращиваемых культур в севообороте варьировал в широких пределах, максимальный показатель отмечен у гороха, наименьший – у ячменя, пшеница и овес занимали промежуточное положение (табл. 4). В этом случае необходимо учитывать, что значительная часть азота накапливается растениями гороха за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями. Экспериментальными данными установлено, что для однолетних зернобобовых культур коэффициент азотфиксации равняется 0.55 [12].

В вариантах с применением доз минеральных удобрений N24–30P24–30K30–36 в сочетании с органическими вынос азота яровыми зерновыми культурами возрос на 2.3–4.2 кг/т по отношению к органическому фону питания. В выносе P₂O₅ урожаем не выявлено заметных изменений между культурами, несколько больше данный показатель был у гороха. Органо-минеральные системы удобрения не приводили к существенному увеличению удельного расхода фосфора на единицу урожая, изменения находились в интервале от 0.7 до 2.3 кг/т, наибольшая разница отмечена для зернобобовой культуры. По мнению авторов работы [13], на почвах с высокой обеспеченностью подвижным фосфором расход P₂O₅ на 1 т основной продукции с учетом побочной мало зависел от предшественника и доз азотных удобрений.

По усредненным данным, за ротацию севооборота установлено, что удельный расход калия на 1 т зерна варьировал в довольно широком диапазоне: от 14.9 кг (в варианте с запашкой сидерата) до 25.6 кг при сочетании органических и минеральных удобрений. По общему выносу K₂O на единицу продукции выращиваемые культуры в севообороте в порядке убывания можно расположить в следующий ряд: горох > овес > ячмень > пшеница.

Сравнивая полученные данные удельного выноса калия на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы с нормативными показателями [14–16], можно отметить, что для гороха и овса они оказались близкими. В то же время у современных сортов пшеницы и ячменя расход элементов питания на единицу урожая заметно меньше. При расчетах доз минеральных удобрений рекомендуются затраты фосфора на уровне 10–12 кг/т, по обобщенным данным за ротацию таким показателям соответствовал только ячмень, для пшеницы и овса они были больше на 2.6–5.4 кг по сравнению с принятыми нормативами в Уральском регионе. В то же время при выращивании интенсивных сортов ячменя с потенциальной урожайностью 6.0–7.0 т/га и больше выявлено снижение удельного расхода азота на единицу продукции, аналогичная закономерность отмечена для гороха с появлением сортов усатой формы.

ВЫВОДЫ

1. На окультуренной темно-серой тяжелосуглинистой почве при запашке сидерата в паровом поле возможно получение урожайности яровых зерновых культур на уровне 2.3–2.4 т/га даже без применения минеральных удобрений. Сочетание умеренных доз минеральных удобрений с органическими обеспечило дополнительный сбор зерна зерновых и зернобобовых в пределах от 0.58 до 1.37 т/га. Из всех выращиваемых культур в севообороте наибольшей отзывчивостью на внесение удобрений выделялся ячмень.

2. На органо-минеральных фонах питания удельный вынос азота и фосфора выращиваемыми культурами в зернопаросидеральном севообороте 1 т зерна с соответствующим количеством соломы практически равнялся нормативным показателям, рекомендуемым для зоны Урала и других регионов Нечерноземной полосы РФ. В то же время интенсивный сорт ячменя Сонет с более высокой потенциальной продуктивностью имел более низкий удельный вынос N и K₂O на единицу продукции, аналогичная тенденция к снижению расхода калия отмечена для яровой пшеницы.

3. Мониторинг выноса питательных элементов урожаем сельскохозяйственных культур в стационарном длительном опыте позволил уточнить их нормативные показатели для расчета доз минеральных удобрений с учетом изменения агрохимических показателей пахотных земель и подбора новых сортов, более адаптированных к почвенно-климатическим условиям Уральского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зезин Н.Н., Постников П.А., Колотов А.П. Научно обоснованная зональная система земледелия Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во ООО "Джи Лайм", 2019. 371 с.
2. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2012. 512 с.
3. Постников П.А. Продуктивность севооборотов при использовании приемов биологизации // Аграрн. вестн. Урала. 2015. № 6. С. 20–23.
4. Новоселов С.И. Влияние севооборота и удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы // Вестн. МарийГУ. Сер. Сел.-хоз. науки. Эконом. науки. 2017. Т. 3. № 1(9). С. 60–64.
5. Тиранова Л.В., Тиранов А.Б. Альтернативные органические удобрения в короткороотационных севооборотах // Земледелие. 2011. № 5. С. 15–17.
6. Хачидзе А.С., Мамедов М.Г. Влияние сортовых особенностей и технологии выращивания зерновых культур на вынос питательных веществ и окупаемость удобрений // Агрохимия. 2009. № 5. С. 42–48.
7. Варламов В.А., Алиев А.М., Ваулин А.В., Кирпичников Н.А., Ваулина Г.И. Вынос NPK пшеницей и ячменем на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве ЦРНЗ РФ // Плодородие. 2012. № 2. С. 12–14.
8. Каренгина Л.Б., Байкин Ю.Л. Эффективность различных фонов питания при возделывании зерновых культур // Аграрн. вестн. Урала. 2017. № 1(155). С. 21–25.
9. Окорочков В.В., Фенова О.А., Окорочкова Л.А. Оптимизация доз, вынос и использование элементов питания при длительном применении удобрений // Усп. совр. естествознания. 2019. № 5. С. 19–29.
10. Сычев В.Г., Листова М.П., Беличенко М.В., Романенков В.А., Никитина Л.В., Чистотин М.В. Совершенствование программ агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями // Бюл. Географ. сети опытов с удобр. Вып. 22. М.: ВНИИА, 2016. 44 с.
11. Зезин Н.Н., Шанин А.А., Мальцев Н.В. Руководство по проведению полевых работ в сельскохозяйственных предприятиях Свердловской области в 2013 году. Екатеринбург: УралНИИСХ РАСХН, 2013. 80 с.
12. Треначев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. М.: Агроконсалт, 1999. 531 с.
13. Конончук В.В., Гончаренко М.С. К вопросу о расчете доз удобрений на планируемый урожай зерновых культур в Центральном Нечерноземье // Зерн. хозяйство России. 2012. № 4. С. 50–54.
14. Нормативы выноса и коэффициентов использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. М.: ЦИНАО, 1989. 110 с.
15. Справочник агронома Нечерноземной полосы / Под ред. Гуляева Г.В. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1990. 575 с.
16. Чесноков Н.А., Гусак С.И., Иванов Н.А. Применение удобрений в Свердловской области. Свердловск: УралНИИСХ, 1991. 139 с.

Influence of Fertilizers on Crop Yield and Removal of Nutrient Elements in Grain-Steep-Sideral Crop Rotation

P. A. Postnikov^{a,*} and V. V. Popova^a

^a Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science
ul. Belinskogo 112-a, p.o. box 269, Yekaterinburg 620142, Russia

*E-mail: postnikov.ural@mail.ru

In a long-term experiment on dark gray forest heavy loamy soil in grain-steep-sideral crop rotation (sideral steep, wheat, oats, peas, barley), it was found that plowing rapeseed in a fallow field on cultivated soil, even without the use of mineral fertilizers, provided an average yield of spring cereals per rotation crop rotation at the level of 2.3–2.4 t/ha. Organo-mineral nutrition backgrounds contributed to additional grain harvesting at the level of 0.58–1.37 t/ha. An increase in the yield of cultivated crops in a crop rotation with the use of mineral and organic fertilizers and an increase in the content of macronutrients in plant products significantly increased the total removal of nutrients with the crop compared to the organic background of nutrition. When cultivating modern varieties of grain and leguminous crops with a higher potential yield, a decrease in the economic removal of macroelements per unit of production was revealed in comparison with the standard indicators.

Key words: crop rotation, mineral and organic fertilizers, siderate, nitrogen, phosphorus, potassium, yield, removal of nutrient elements.