

УДК 631.84:631.871(571.1)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ПОСТУПЛЕНИЯ В ПОЧВУ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2022 г. И. Н. Шарков^{1,*}, С. А. Колбин¹, А. С. Прозоров¹, Л. М. Самохвалова¹¹ Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН
630501 Новосибирская обл., р.п. Краснообск, а/я 463, Россия

*E-mail: humus3@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.09.2021 г.

После доработки 04.10.2021 г.

Принята к публикации 15.12.2021 г.

В многолетнем (14 лет) полевом опыте, проведенном на черноземе выщелоченном, исследовали возможности повышения урожайности яровой пшеницы и окупаемости азота удобрения прибавкой зерна при увеличении поступления в почву растительных остатков. Опыт включал 4 варианта 3-польных севооборотов, различавшихся количеством и заделкой в почву растительных остатков. Наименьшее поступление в почву воздушно-сухого надземного вещества (0.48 т/га пашни) было в севообороте пшеница–пшеница–чистый пар при удалении соломы с поля, наибольшее (5.69 т/га) – в севообороте с сидеральным паром (викоовсяной смесью) и заделкой в почву пшеничной соломы. Остальные 2 севооборота, в том числе с занятым паром (также викоовсяная смесь), по количеству заделанных в почву растительных остатков занимали промежуточное положение. В каждом севообороте 1-ю (после пара) пшеницу выращивали на фонах N0P0, N0P45 и N40P45, 2-ю пшеницу – N0, N40 и N80. По стартовым запасам продуктивной влаги (≈ 150 мм) в слое 0–100 см почвы поля севооборотов между собой практически не различались. Замена чистого пара занятым и сидеральным парами уменьшила перед посевом 1-й пшеницы стартовый запас нитратного азота в 1-метровом слое почвы примерно в 2 раза, тогда как при посеве 2-й пшеницы количество нитратов в этом слое было практически одинаковым во всех севооборотах – 68–71 кг N/га. Независимо от дозы азотного удобрения не получено дополнительного прироста урожайности пшеницы в вариантах со значительным поступлением в почву растительных остатков. Среднегодовая урожайность зерна 1-й пшеницы в севообороте с минимальным поступлением в почву растительных остатков составила 3.82, максимальным – 3.62 т/га, для 2-й пшеницы эти показатели были равны соответственно 3.15 и 3.03 т/га. Прибавки урожая зерна пшеницы определялись в основном стартовой обеспеченностью почвы нитратным азотом и дозой азотного удобрения и также практически не зависели от уровня поступления растительных остатков в почву. Среднегодовая окупаемость удобрения прибавкой зерна 2-й пшеницы, почва под которой была наиболее сильно обеднена нитратами, составила в среднем 8.6 кг/кг N и была примерно одинаковой для всех севооборотов. Сделан вывод, что при возделывании на старопахотном черноземе пшеницы по интенсивной технологии образующегося количества растительных остатков оказывается достаточно для обеспечения высокой урожайности и окупаемости азота удобрения прибавкой зерна. Нарращивание поступления растительных остатков в почву (путем выращивания промежуточных или иных культур в севооборотах) должно быть обосновано с позиций экономической целесообразности, если это не связано с предотвращением деградации почвы в результате ветровой или водной эрозии.

Ключевые слова: растительные остатки, азотное удобрение, яровая пшеница, прибавка зерна от удобрения, окупаемость азота прибавкой зерна, лесостепь Западной Сибири.

DOI: 10.31857/S0002188122030097

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы играет важную роль в формировании эффективного плодородия как резерв элементов минерального питания и фактор, благотворно влияющий на физико-химические и агрофизические свойства почвы. По-

этому накоплению в пахотных почвах органического вещества и его основного компонента – гумуса всегда уделялось повышенное внимание, особенно в отечественном земледелии [1, 2]. На большей части сибирской пашни основным, а зачастую и единственным источником пополнения запаса органического вещества в почве явля-

ются растительные остатки. Причины кроются в низкой транспортабельности основных органических удобрений – навоза и торфа, а также слишком больших расстояниях для их доставки на поля.

Увеличение поступления растительных остатков в почву может происходить либо вследствие роста урожайности культур при интенсификации агротехнологий, либо повышения в севообороте доли культур, оставляющих на поле большую массу пожнивно-корневых остатков. Одним из способов пополнения почвы свежим органическим веществом является также замена в севообороте чистого пара занятым либо сидеральным паром. В случае занятого пара в почву дополнительно поступают только пожнивно-корневые остатки выращиваемой в паровом поле культуры (зеленую массу используют на корм скоту), в сидеральном пару на поле остается вся сформированная надземная и подземная биомасса растений. Целесообразность замены чистого пара занятым, сидеральным паром или какой-либо культурой севооборота (т.е. полный отказ от чистого пара) обсуждается исследователями на протяжении десятилетий и, как показывают публикации последних лет, дискуссии продолжаются и в настоящее время [3–5]. Главный вопрос, который решается в таких дискуссиях, связан с урожайностью основной культуры севооборота (в Сибири ею чаще всего является яровая пшеница): способен ли отказ от чистого пара увеличить среднегодовой выход зерна с 1 га пашни? Однако возникает и другой вопрос, который значительно реже рассматривают исследователи. Он связан с оценкой влияния количеств поступивших в почву растительных остатков на эффективность удобрений. Это влияние может быть как прямым, т.е. обусловленным содержащимися в остатках элементами минерального питания, так и косвенным – благодаря улучшению агрофизических и физико-химических свойств почвы.

Цель работы – оценка в многолетнем опыте влияния количества поступивших в почву растительных остатков на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотных удобрений на черноземе выщелоченном в лесостепи Западной Сибири.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в многолетнем (14 лет) полевом опыте, заложенном в 2001 г. на опытной станции “Элитная” СФНЦА РАН в Центральной лесостепи Новосибирского Приобья. Опыт состоял из 4-х вариантов 3-польных севооборотов, которые были освоены к 2004 г. Севообороты

различались количеством поступивших в почву растительных остатков за счет различного использования парового поля и удаления или оставления пшеничной соломы на поле. В севообороте 1 (чистый пар–пшеница–пшеница) солому удаляли с полей (до 2011 г. – механически, в 2012–2017 гг. – путем сжигания). Севооборот 2 отличался от первого тем, что солому оставляли на поле. В севообороте 3 чистый пар был заменен занятым паром: викоовсяную смесь высевали 15–20 июня и убирали на зеленый корм 20–25 августа. Севооборот 4 характеризовался наибольшим поступлением растительного вещества в почву – возделываемую вместо чистого пара викоовсяную смесь полностью заделывали в почву (сидеральный пар). В 2-х последних севооборотах пшеничную солому запахивали в почву так же, как в севообороте 2. Поле чистого пара обрабатывали за вегетационный период 4–5 раз культиватором на глубину 5–7 см для уничтожения сорняков. В сидеральном пару биомассу викоовсяной смеси заделывали в почву дисковой бороной в 2–3 следа 20–25 августа. В сентябре, после уборки пшеницы, все поля севооборотов ежегодно пахали плугом на глубину 25–27 см.

Яровую пшеницу в севооборотах с чистым, занятым и сидеральным парами выращивали на фонах P0 и P45 при внесении разных доз азотного удобрения (N_{aa}) и одинаковом во всех вариантах опыта применении пестицидов. В каждом из 4-х севооборотов было 3 варианта применения удобрений: 1 – N0P0 – на всех 3-х полях (контроль), 2 – в паровом поле P45, под 1-ю (после пара) пшеницу – N0, под 2-ю пшеницу – N40, 3 – в паровом поле P45, под 1-ю пшеницу – N40, под 2-ю – N80. Удобрения вносили в поверхностный слой почвы сеялкой СЗП-3,6 перед предпосевной культивацией с последующим посевом в этот же день пшеницы. Во всех вариантах опыта семена пшеницы обрабатывали химическим протравителем, а посевы в фазе кушения – гербицидами против двудольных и злаковых сорняков, в колосшение пшеницы – фунгицидом для защиты флаг-листа от возбудителей болезней. В севооборотах выращивали среднераннюю яровую пшеницу сорта Новосибирская 29 (с 2014 г. – ее современный аналог, сорт Новосибирская 31), овес – сорт Ровесник, вику яровую – сорт Приобская 25. Соотношение вики и овса в посевах было равно 1 : 2 (1 всхожее семя вики : 2 всхожих семени овса).

Ежегодно в контрольных вариантах опыта в слое 0–100 см почвы определяли запасы продуктивной влаги путем высушивания почвенных образцов при 105°C и содержание нитратного азота

Таблица 1. Запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см почвы перед посевом 1-й и 2-й пшеницы после пара (2004–2017 гг.), мм

Севооборот	Пшеница после пара (1-я)			Пшеница после пшеницы (2-я)		
	среднее	lim	V*	среднее	lim	V*
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	150	132–168	7	147	87–170	15
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	156	132–177	7	151	90–168	14
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	154	81–198	18	146	80–167	16
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	158	81–198	18	152	80–180	17

*Коэффициент вариации среднего (%). То же в табл. 2.

усовершенствованным дисульфифеноловым методом [6].

Почва опытного участка – старопахотный чернозем выщелоченный среднегумусный среднеспособный среднесуглинистый. В слое 0–25 см содержалось: $C_{орг}$ – 3.6%, $N_{общ}$ – 0.30%, P_2O_5 и K_2O (по Чирикову) – 23 и 18 мг/100 г почвы соответственно.

В районе проведения исследования среднегодовое количество осадков, по данным наблюдений агрометеостанции “Огурцово” за последние 50 лет, составляло 452 мм, сумма температур воздуха $>10^{\circ}C$ – $\approx 1800^{\circ}C$, продолжительность периода вегетации – ≈ 120 сут. По гидротермическим условиям годы исследования были различными, но в целом за 14-летний период примерно соответствовали среднемуголетним показателям для данной территории.

Урожай убирали напрямую комбайном “Сампо 500” с одновременным измельчением и рассеиванием соломы по поверхности, за исключением севооборота 1, где в процессе обмолота зерна солому собирали в сетчатый мешок и затем удаляли с поля. Повторность в опыте трехкратная. Статистическая обработка результатов выполнена методом дисперсионного анализа с помощью пакета компьютерных программ [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среднегодовой весенний запас продуктивной влаги в слое 0–100 см почвы, согласно шкале [8], был хорошим (табл. 1). Он практически не зависел от характера использования парового поля и

был примерно одинаковым (различие не превышало 5%) перед посевом как 1-й, так и 2-й пшеницы. Это означало, что в районе исследования почвенная влага, израсходованная растениями пшеницы или викоовсяной смеси в течение вегетационного периода, практически полностью восстанавливалась до показателей ее накопления в чистом пару благодаря осадкам в осенне-зимний период. Вероятно, этому способствовала ежегодная глубокая вспашка почвы, что обеспечивало повышенную водопроницаемость почвенного профиля, в том числе и при снеготаянии.

Как и следовало ожидать, наибольшее накопление нитратного азота в почве обеспечил чистый пар, далее следовали сидеральный и занятый пары (табл. 2). В слое 0–40 см почвы после чистого пара запас нитратного азота перед посевом 1-й пшеницы был на 64% больше в сравнении со средними показателями вариантов занятого и сидерального паров, для слоя 40–100 см это превышение было еще более значительным (146%). Следовательно, при диагностировании питания культур азотом по содержанию нитратов в слое 0–40 см [9] и одинаковом их запасе в этом слое фактическая обеспеченность растений элементом после чистого пара будет лучше, чем после непаровых предшественников, благодаря большему обогащению нитратами слоя почвы глубже 40 см.

Перед посевом 2-й пшеницы не обнаружено значительных различий между севооборотами в исходных запасах нитратов в почве, обусловленных характером использования парового поля. В виде тенденции можно отметить некоторое увеличение (на 19%) запаса $N-NO_3$ в слое 0–40 см

Таблица 2. Запасы нитратного азота в слоях почвы перед посевом пшеницы (2004–2017 гг.), кг N/га

Севооборот	Пшеница после пара (1-я)			Пшеница после пшеницы (2-я)		
	среднее	lim	V	среднее	lim	V
Слой 0–40 см						
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	88	38–152	42	27	11–52	38
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	88	35–152	43	26	17–43	28
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	51	19–83	34	26	17–45	32
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	56	28–87	30	31	17–48	30
Слой 40–100 см						
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	84	31–137	39	42	4–79	50
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	83	26–160	40	42	12–89	56
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	29	5–71	57	35	2–103	74
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	38	8–116	74	39	14–81	57
Слой 0–100 см						
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	172	130–223	13	69	15–112	39
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	171	109–219	18	68	33–122	38
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	80	41–127	28	71	21–122	45
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	94	59–168	32	70	37–122	37

почвы после сидерального пара по отношению к занятому пару. Это было обусловлено, по-видимому, тем, что в сидеральном пару викоовсяную смесь заделывали в почву, а в занятом — надземную биомассу с содержащимися в ней элементами питания удаляли с поля. Согласно шкале обеспеченности растений азотом в слое 0–40 см [9], запас нитратов в почве перед посевом 1-й пшеницы был высоким, перед 2-й — низким. Следовательно, при выращивании пшеницы по интенсивной технологии нитраты, накопленные в чистом пару, использовались 1-й пшеницей практически полностью, и из-за короткого теплого периода, после уборки культуры осенью значительного их накопления в верхнем слое почвы не происходило. Каких-либо четких различий величины коэффициента вариации запаса нитратного азота в слоях почвы не обнаружено — изменчивость этого показателя практически везде была высокой ($V > 20\%$).

За счет изменений характера использования парового поля (чистый, занятый, сидеральный пары), а также отчуждения или оставления соломы на поле севооборота значительно различались количеством поступивших в почву надземных растительных остатков (табл. 3). Наибольшее среднегодовое поступление воздушно-сухого растительного вещества в почву было в севообороте с сидеральным паром — ≈ 5.7 т/га севооборотной площади (пашни). Эта величина превышала соответствующий показатель для севооборота 1, в котором растительные остатки удаляли с поля, \approx в 12 раз, для остальных севооборотов — 1.5 раза. Под влиянием минеральных удобрений поступление надземных растительных остатков в почву увеличилось довольно слабо — всего лишь на 10–20%.

В севообороте с занятым паром в среднем за год с поля отчуждалось воздушно-сухой биомассы викоовсяной смеси 1.6–1.8 т/га, а с ней —

Таблица 3. Среднегодовое поступление надземного воздушно-сухого вещества в почву в севооборотах (2004–2016 гг.), т/га пашни

Севооборот	N0P0	N13P15*	N40P15*	Среднее в севообороте
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	0.45	0.49	0.52	0.48
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	3.48	3.78	4.00	3.75
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	3.52	3.76	4.16	3.81
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	5.30	5.77	6.01	5.69
<i>HCP</i> ₀₅		0.39**		0.22

*Дозы даны в расчете на 1 га пашни. То же в табл. 4.

***HCP*₀₅ частных средних.

Таблица 4. Среднегодовое отчуждение (–) или поступление (+) надземной массы викоовсяной смеси и в ее составе азота в почву в севооборотах (2004–2016 гг.)

Севооборот	Воздушно-сухая биомасса, т/га пашни			<i>HCP</i> ₀₅	Азот в составе биомассы, кг/га пашни			<i>HCP</i> ₀₅
	N0P0	N13P15	N40P15		N0P0	N13P15	N40P15	
Занятый пар–пшеница–пшеница	–1.56	–1.77	–1.79	0.24	–35	–39	–39	6
Сидеральный пар–пшеница–пшеница	+1.94	+2.17	+2.19	0.23	+42	+46	+47	5

35–39 кгN/га (табл. 4). В севообороте с сидеральным паром, напротив, сформированная биомасса викоовсяной смеси и потребленный ею из почвы азот полностью возвращались в почву. По отношению к севообороту 2, в котором надземное растительное вещество поступало в почву только в виде соломы и пожнивных остатков, доля биомассы викоовсяной смеси в среднем составляла 56%. Следовательно, использование в 3-польном зернопаровом севообороте одного поля для выращивания викоовсяной смеси может повысить поступление растительного вещества в почву более чем на половину.

Однако в сравнении с чистым паром питание растений пшеницы азотом после сидерального пара было более напряженным (дефицитным). Об этом свидетельствовало, в частности, меньшее стартовое содержание нитратов после сидерального пара (табл. 2). Поэтому в сидеральном пару растения викоовсяной смеси ежегодно усваивали из почвы значительное количество азота, который во 2-й половине августа вновь возвращался с биомассой в почву. Клубеньков на корнях вики практически не было, что свидетельствовало об отсутствии дополнительного прихода в почву

азота вследствие симбиотической азотфиксации. За короткий осенний и весенний периоды биологической активности в почве, что характерно для условий Сибири, заделанный в почву азот викоовсяной смеси не успевал полностью минерализоваться, поэтому стартовое количество нитратов в этом случае было существенно меньше, чем после чистого пара. Таким образом, своеобразной платой за увеличение прихода в почву углерода в виде растительной массы викоовсяной смеси было некоторое ухудшение азотного питания пшеницы, что в случае неприменения азотных удобрений, особенно на более бедных, чем черноземы, почвах может быть чревато снижением урожайности зерна.

Среднегодовая урожайность зерна пшеницы, возделываемой при применении комплекса средств химизации, оказалась в среднем за 14 лет опыта довольно высокой: в зависимости от севооборота и дозы азота для 1-й пшеницы она изменялась от 3.2 до 4.0, для 2-й – от 2.6 до 3.5 т/га (табл. 5).

Дополнительное поступление растительного вещества в почву в виде соломы или биомассы викоовсяной смеси не способствовало росту уро-

Таблица 5. Среднегодовая урожайность яровой пшеницы в севооборотах (2004–2017 гг.), т/га

Севооборот	N0P0	N0P45	N40P45
Пшеница после пара (1-я)			
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	3.68	3.79	3.98
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	3.64	3.75	3.86
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	3.17	3.17	3.55
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	3.55	3.51	3.80
Среднее для фонов удобрения ($HCP_{05} = 0.21$)	3.51	3.56	3.80
Пшеница после пшеницы (2-я)			
Севооборот	N0P0	N40P0	N80P0
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	2.80	3.16	3.48
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	2.86	3.18	3.49
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	2.56	2.93	3.37
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	2.71	3.01	3.36
Среднее для фонов удобрения ($HCP_{05} = 0.21$)	2.73	3.07	3.43

жайности зерна. Например, средняя урожайность зерна пшеницы после чистого пара в севообороте 1 с минимальным поступлением надземного растительного вещества в почву (табл. 3) составила 3.82 т/га, в севообороте 4, где приход растительных остатков был в 12 раз больше, – 3.62 т/га, для 2-й пшеницы эти показатели были соответственно равны 3.15 и 3.03 т/га.

Ранее [10] уже сравнивали урожайность пшеницы при удалении соломы с поля (севооборот 1) и заделке ее в почву (севооборот 2). Было показано, как и другими исследователями [11], что основное влияние на урожайность пшеницы на лесостепных черноземах оказывал уровень азотного питания растений, а влияние самой соломы было практически незаметным. Дело в том, что с соломой в нашем опыте ежегодно отчуждалось с поля только 17 кг N/га. Вероятно, для достаточно плодородного чернозема этого было недостаточно, чтобы оказывать существенное влияние на минерализационно-иммобилизационные процессы превращения азота в почве, поскольку только в слое 0–100 см чистого пара ежегодно накапливалось до 170 кг N/га (табл. 2).

Тем не менее, отчуждение ежегодно с поля в варианте N0P0 в занятом пару викоовсяной сме-

сью 35 кг N/га (табл. 4) заметно снизило урожайность зерна в сравнении с севооборотом 2 (табл. 5), в котором в почву заделывали только солому: 1-й пшеницы – на 0.47 (на 13%), 2-й пшеницы – на 0.30 т/га (на 10%). Разумеется, в данном случае викоовсяная смесь ухудшала азотное питание пшеницы не только за счет отчуждения азота из почвы, но и вследствие того, что часть запасов элемента связывалась ее корнями.

Следует также отметить, что внесение в паровое поле P45 не способствовало повышению среднегодовой урожайности зерна пшеницы после всех видов пара, что было обусловлено, вероятно, высоким содержанием подвижного фосфора в почве (по Чирикову) – 23 мг P₂O₅/100 г.

Об эффективности азотного удобрения при различном поступлении растительного вещества в почву судили по прибавкам урожайности и окупаемости 1 кг N дополнительным зерном (табл. 6). У 1-й пшеницы наибольшие прибавки урожайности и окупаемость азотного удобрения зерном получены в вариантах с занятым и сидеральным парами, где в почву поступало наибольшее количество растительных остатков. На этом основании можно сделать неверный, на наш взгляд, вывод о необходимости наращивания прихода свежего ор-

Таблица 6. Среднегодовые прибавки урожайности пшеницы (т/га) от азотного удобрения и окупаемость азота прибавкой зерна (кг/кг) в севооборотах (2004–2017 гг.)

Севооборот	Пшеница после пара (1-я)		Пшеница после пшеницы (2-я)			
	прибавка от N40	окупаемость N40	прибавка от		окупаемость	
			N40	N80	N40	N80
1. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому удаляли с поля (контроль)	0.19*	0	0.36	0.68	9.0	8.5
2. Чистый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	0.11*	0	0.32	0.63	8.0	7.9
3. Занятый пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	0.38	9.5	0.37	0.81	9.3	10.1
4. Сидеральный пар–пшеница–пшеница, солому заделывали в почву	0.29	7.3	0.29	0.65	7.3	9.1

*Прибавки урожайности недостоверны при уровне значимости 0.05.

ганического вещества в старопашотные черноземы Сибири. На самом деле практически нулевая окупаемость азотного удобрения прибавкой зерна в севооборотах 1 и 2, где приход растительных остатков в почву был наименьшим, означала, что после чистого пара не было получено существенных прибавок урожайности, т.е. применение удобрения было нецелесообразным. Достаточно высокая окупаемость азота прибавкой зерна после занятого и сидерального паров объясняется не улучшением агрофизических или физико-химических свойств почвы под влиянием большего поступления растительных остатков (в этом случае наибольшая урожайность пшеницы была бы в севообороте с сидеральным паром), а, как уже говорилось, пониженными стартовыми запасами нитратов в вариантах в севооборотах с применением N0P0 (табл. 2). Таким образом, увеличение окупаемости азотного удобрения прибавкой урожая 1-й пшеницы в вариантах с большим поступлением растительных остатков в данном случае является кажущимся, поскольку оно не было обусловлено ростом в этих вариантах урожайности пшеницы в сравнении севооборотами 1 и 2 (табл. 3), где приход в почву свежего органического вещества был минимальным. Заметим, что проведенное ранее исследование в этих же опытах показало [12], что приход в почву различных количеств растительных остатков не оказал существенного влияния на ее макро- и микроагрегатный состав, объемную массу и общую порозность. В результате был сделан вывод о довольно слабом положительном влиянии растительных остатков пшеницы и викоовсяной смеси на агрофизические свойства почвы, которое несоизмеримо с воздействием корневых систем многолетних трав. Не обнаружено четкой зависимости прибавки урожайности

и окупаемости азота дополнительным зерном от количества поступавших в почву за время опыта растительных остатков и у 2-й пшеницы. Во всех 4-х севооборотах при внесении N40 прирост зерна изменялся в пределах 0.29–0.37, N80 – 0.65–0.81 т/га, окупаемость 1 кг N удобрения прибавкой зерна варьировала соответственно от 7.3–9.3 до 9.1–10.1 кг/кг. Прибавки урожайности от азотного удобрения значительно возрастали с увеличением дозы (табл. 6), причем в большей степени после занятого и сидерального паров, что также свидетельствовало о складывающемся в этом случае более дефицитном питании растений азотом в сравнении с севооборотами с чистым паром.

Ранее был предложен способ прогнозирования оценки целесообразности применения средств интенсификации в агротехнологиях [13]. Он позволяет определять минимальную цену продукции, в нашем случае – зерна, при которой будут окупаться затраты на применение средств интенсификации. В данном многолетнем исследовании представляет интерес определение минимальной цены реализации зерна, которая будет окупать затраты на применение азотного удобрения под 2-ю пшеницу (урожайность 1-й пшеницы в значительной степени формировалась за счет азота самой почвы). По данным прайс-листа фирмы “Агродоктор”, ведущего поставщика удобрений в Новосибирской обл., цена 1 кг N в N_{aa} в настоящее время составляет примерно 70 руб. В среднем для доз N40 и N80 под 2-ю пшеницу получены близкие величины окупаемости удобрения прибавкой зерна – ≈ 8.6 кг/кг N. Чтобы при такой окупаемости компенсировать затраты на приобретение 1 кг N (70 руб.), цена 1 кг зерна должна быть равна 8.1 руб. или 8100 руб./т. Разумеется, хозяйство не только должно возратить

потраченные на удобрения деньги, но и получить прибыль, поэтому фактическая цена реализации зерна должна быть существенно больше. Для большинства хозяйств по ряду причин достаточно сложно получать такую высокую окупаемость азота прибавкой зерна, что было подробно рассмотрено ранее [14], и это является основным препятствием на пути широкого освоения интенсивных технологий производства зерна в Сибири.

Таким образом, наращивание прихода свежих растительных остатков в выщелоченный чернозем за счет замены в зернопаровых севооборотах чистого пара занятым или сидеральным (викоовсяным) паром не обеспечивало дополнительного прироста урожайности пшеницы независимо от уровня удобрения ее азотом. Изменения прибавок зерна пшеницы от азотного удобрения и окупаемости азота на разных фонах поступления растительных остатков в почву были обусловлены в основном варьированием урожайности в контрольных вариантах опыта (N0P0). Поэтому на основании этих изменений неправомерно делать вывод о необходимости специального увеличения прихода свежего органического вещества в старопахотные черноземы, чтобы повысить отдачу от азотных удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В многолетнем (14 лет) полевом опыте, проведенном на черноземе выщелоченном в лесостепи Западной Сибири, исследовали возможности повышения урожайности яровой пшеницы и эффективности азотного удобрения под влиянием увеличения поступления в почву растительных остатков. Опыт состоял из 4-х вариантов 3-польных севооборотов, обеспечивавших последовательное наращивание поступления в почву растительных остатков. В базовом севообороте 1 (пшеница–пшеница–чистый пар) солому удаляли с поля, в таком же севообороте 2 солому заделывали в почву, в севообороте 3 чистый пар заменили занятым, в севообороте 4 – сидеральным паром, парозанимающей культурой служила викоовсяная смесь. В каждом севообороте 1-ю (после пара) пшеницу выращивали при применении доз N0P0, N0P45 и N40P45, 2-ю пшеницу – N0, N40 и N80.

Наибольшее среднегодовое поступление сухого растительного вещества в почву было в севообороте с сидеральным паром – ≈ 5.7 т/га пашни, что превышало данный показатель в севообороте 1 примерно в 12 раз. Среднегодовые весенние запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см почвы были достаточно высокими – ≈ 150 мм, причем примерно одинаковыми после культур и чистого пара. Замена чистого пара занятым и сидераль-

ным парами создавала для 1-й (после пара) пшеницы более дефицитный режим азотного питания – стартовые запасы нитратного азота в варианте N0P0 в слое 0–100 см уменьшились примерно на 50%. Перед посевом 2-й пшеницы стартовые запасы нитратов в этом слое были практически одинаковыми во всех севооборотах – 68–71 кг N/га, что свидетельствовало об усвоении 1-й пшеницей избытка доступных растениям соединений азота.

Не получено прироста урожайности пшеницы в вариантах опыта с большим поступлением в почву растительных остатков, независимо от уровня применения азотного удобрения. Среднегодовая по всем фонам удобрения урожайность зерна 1-й пшеницы составила: в севообороте 1, где поступление растительных остатков в почву было минимальным, 3.82 т/га, в севообороте 4 с максимальным приходом в почву свежего органического вещества – 3.62 т/га; для 2-й пшеницы эти показатели были равны соответственно 3.15 и 3.03 т/га.

Прибавки зерна от применения азотного удобрения определялись в основном стартовой обеспеченностью почвы нитратным азотом и дозой азотного удобрения и практически не зависели от уровня поступления растительных остатков в почву. Например, у 2-й пшеницы, наиболее обедненной стартовым запасом нитратов, величины среднегодовой окупаемости удобрения прибавкой зерна были близкими для всех севооборотов и составили примерно 8.6 кг/кг N.

Таким образом, полученные результаты не подтвердили необходимость дополнительного (специального) наращивания поступления свежего органического вещества в старопахотный лесостепной чернозем при использовании его для выращивания яровой пшеницы по интенсивной технологии. Образующегося при ее возделывании количества растительных остатков оказывается достаточно, чтобы обеспечивать высокую урожайность и окупаемость азота удобрения прибавкой зерна. Дополнительное поступление остатков в почву вследствие выращивания промежуточных или иных культур в севооборотах должно быть обосновано с позиций экономической целесообразности, если это не связано с предотвращением деградации почвы в результате ветровой или водной эрозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С., Орлов Д.С., Титлянова А.А., Фокин А.Д.* Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М.: МСХА, 1993. 98 с.
2. *Шарков И.Н.* Концепция воспроизводства гумуса в почвах // *Агрохимия*. 2011. № 12. С. 21–27.

3. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии. СПб: Лань, 2015. 464 с.
4. Сулейменов М.К. Шестьдесят лет в строю // Аграрн. сектор. 2019. № 1(39). С. 6–10.
5. Литвинцев П.А., Кобзева И.А. Влияние систематического использования сидератов на продуктивность зернопарового севооборота // Земледелие. 2014. № 8. С. 23–24.
6. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.
7. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: СО РАСХН, 2008. 217 с.
8. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
9. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Новосибир. ГАУ, 2013. 790 с.
10. Шарков И.Н., Колбин С.А., Прозоров А.С., Самохвалова Л.М. Плодородие чернозема выщелоченного и урожайность яровой пшеницы при многолетнем удалении соломы с поля в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2016. № 11. С. 12–18.
11. Лисунов В.В., Морозов Н.Д. Агроэкономическая эффективность технологий возделывания культур с использованием соломы и сидерата // Достиж. науки и техн. АПК. 2008. № 3. С. 17–20.
12. Шарков И.Н., Бушмелева Т.И., Самохвалова Л.М. Влияние растительных остатков на агрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях Новосибирского Приобья // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: Мат-лы IV Всерос. научн. конф. с междунар. участием (1–5 сентября 2010 г.) / Под. ред. С.П. Кулижского. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. С. 254–257.
13. Шарков И.Н., Сорокин О.Д., Колбин С.А. Прогнозированная оценка целесообразности применения средств интенсификации в агротехнологиях // Земледелие. 2019. № 3. С. 14–17.
14. Шарков И.Н. Проблемы интенсификации технологий возделывания зерновых культур в Сибири // Инновации и продовольст. безопасность. 2016. № 1(11). С. 24–32.

Efficiency of Nitrogen Fertilizer with an Increase Input of Plant Residues into the Soil in Forest-Steppe of Western Siberia

I. N. Sharkov^{a,#}, S. A. Kolbin^a, A. S. Prozorov^a, and L. M. Samokhvalova^a

^a Siberian Research Institute of Agronomy and Agricultural Chemistry SFSCA RAS
post-office box 463, Krasnoobsk, Novosibirsk district 630501, Russia

[#]E-mail: humus3@yandex.ru

In a long-term (14 years) field experiment conducted on leached chernozem, the possibilities of increasing the yield of spring wheat and the payback of fertilizer nitrogen by adding grain with an increase in the intake of plant residues into the soil were investigated. The experiment included 4 variants of 3-field crop rotations, differing in the amount and embedding of plant residues in the soil. The smallest intake of air-dry aboveground matter into the soil (0.48 t/ha of arable land) was in the wheat–wheat – pure steam crop rotation when removing straw from the field, the largest (5.69 t/ha) was in the crop rotation with a sideral pas (vie-oat mixture) and embedding wheat straw into the soil. The remaining 2 crop rotations, including those with occupied steam (also vie-oat mixture), occupied an intermediate position in terms of the number of plant residues embedded in the soil. In each crop rotation, the 1st (after steam) wheat was grown on backgrounds N0P0, N0P45 and N40P45, the 2nd wheat – N0, N40 and N80. According to the initial reserves of productive moisture (≈ 150 mm) in a layer of 0–100 cm of soil, the crop rotation fields practically did not differ from each other. The replacement of pure steam with occupied and sideral steam reduced the initial supply of nitrate nitrogen in the 1-meter soil layer by about 2 times before sowing the 1st wheat, whereas when sowing the 2nd wheat, the amount of nitrates in this layer was almost the same in all crop rotations – 68–71 kg N/ha. Regardless of the dose of nitrogen fertilizer, no additional increase in wheat yield was obtained in variants with a significant intake of plant residues into the soil. The average annual grain yield of the 1st wheat in the crop rotation with the minimum intake of plant residues into the soil was 3.82, the maximum was 3.62 t/ha, for the 2nd wheat these indicators were equal to 3.15 and 3.03 t/ha, respectively. Wheat grain yield increases were determined mainly by the initial provision of the soil with nitrate nitrogen and the dose of nitrogen fertilizer, and also practically did not depend on the level of plant residues entering the soil. The average annual payback of fertilizer by adding grain of the 2nd wheat, the soil under which was most severely depleted of nitrates, averaged 8.6 kg/kg N and was approximately the same for all crop rotations. It was concluded that when cultivating wheat on old-arable chernozem using intensive technology, the resulting amount of plant residues is sufficient to ensure high yield and payback of fertilizer nitrogen by adding grain. Increasing the flow of plant residues into the soil (by growing intermediate or other crops in turn) should be justified from the standpoint of economic feasibility, if this is not related to preventing soil degradation as a result of wind or water erosion.

Keywords: plant residues, nitrogen fertilizer, spring wheat, grain gain from fertilizer, nitrogen payback by grain gain, forest steppe of Western Siberia.