

УДК 631.452:631.8(571.11)

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ¹

© 2019 г. В. И. Волынкин¹, О. В. Волынкина^{1,*}, А. Н. Копылов¹

¹ Курганский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения РАН 641325 с. Садовое, Кетовский р-н, Курганская обл., ул. Ленина, 9, Россия

*E-mail: kniish@ketovo.zaoral.ru

Поступила в редакцию 23.10.2018 г.

После доработки 26.10.2018 г.

Принята к публикации 13.05.2019 г.

Показана динамика агрохимических свойств почвы под влиянием времени и применения удобрений в стационарных полевых опытах на 3-х опытных полях Курганского НИИСХ, размещенных в разных зонах Курганской обл. – северо-западной (Шадринское поле), центральной (Центральное поле) и восточной (Макушинское поле), соответственно на черноземах выщелоченном тяжелосуглинистом, выщелоченном среднесуглинистом и обыкновенном солонцеватом легкоглинистом. На Центральном и Макушинском опытных полях сохранение содержания гумуса в почве отмечено под бессменными посевами пшеницы и овса в зернопропашном севообороте, удобренных N40–60P26. На Шадринском опытном поле за 40 лет одного из опытов во всех видах севооборотов отмечено снижение содержания гумуса на 0.3–0.5%. Наименьшим содержание гумуса было под посевами бессменной пшеницы, большим – в зернопаровом севообороте. На Шадринском опытном поле показано положительное влияние соломы на содержание гумуса. Показатель кислотности выщелоченных черноземов (pH_{KCl}) за 40–47 лет опытов снизился на 1.0 ед. в контроле и на 1.2 ед. – в удобренных вариантах при исходной величине pH_{KCl} 6.2–6.4. На обыкновенном солонцеватом черноземе при исходной величине pH_{H_2O} 7.3 отмечено подщелачивание почвенного раствора в связи с повышением количества натрия в ППК.

Ключевые слова: почвенное плодородие, длительное применение удобрений, Курганская обл.

DOI: 10.1134/S0002188119080131

ВВЕДЕНИЕ

Территория Курганской обл. расположена в западной части Западно-Сибирской низменности. В основном это плоская равнина с незначительным общим уклоном с юга на север и с запада на восток. Равнина слабодренированная, расчленена сетью междуречий [1]. Климат в Зауралье резко континентальный, характерны суровые зимы и относительно жаркое лето. По почвенно-климатическим условиям территория Курган-

ской обл. делится с существенными их отличиями на северо-западную, центральную, восточную и южную зоны. Поэтому стационарные опыты были заложены в каждой природно-климатической зоне. Наиболее благоприятные погодные условия для возделывания сельскохозяйственных культур и проявления эффективности удобрений складываются в северо-западной зоне в связи с лучшим увлажнением растений. Пашня в Курганской обл. занята в основном черноземами выщелоченными и обыкновенными солонцеватыми.

Различные агротехнические приемы, действуя на продуктивность сельскохозяйственных культур, влияют и на свойства почвы. Среди разных показателей свойств почвы содержанию органического вещества отводится первостепенная роль в характеристике ее плодородия, поскольку оно тесно связано с условиями питания и влагообеспеченности растений [2]. Понятие “плодородие почвы” формулируется как специфическое ее

¹ Исследование провели 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 минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, интегрированной защиты растений, биологизации, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ и баз данных, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия”.

свойство, характеризующее накопленные ресурсы вещества, энергии и информации, которые используются растениями в биогеоценозе [3]. Изменение эффективного плодородия выражается в динамике урожайности сельскохозяйственных культур.

Гумус состоит из инертной части, прочно связанной с минеральной частью почвы, устойчивой к микробиологическому разложению, и легко разлагаемой лабильной, на которую приходится 10–30% [4]. Соотношение содержаний углерода и азота (C : N) в лабильной части равно 5–10 [5], в гуминовых кислотах – 14–15 [2]. Очень важно знать возможность и пути регулирования содержания гумуса. Регулирующая система должна быть шире регулируемой. Первая должна накопить исследования о влиянии множества приемов на вторую. Обработка почвы, севооборот, приемы удобрения, вид растения, сорт и т.п. – все эти факторы в определенной степени могут менять состояние органического вещества почвы и других ее свойств. В настоящем исследовании изучали в основном роль удобрений в разных видах севооборотов. Для близких к Зауралью территорий есть данные о положительном действии удобрений на содержание гумуса в почве [6, 7].

Учет урожайности культур в хозяйствах и районах области показал ее изменчивость: в частности, для зерновых и зернобобовых культур в Курганской обл. урожайность за 4 пятилетия (1996–2015 гг.) была следующей: 8.8, 9.8, 13.0 и 16.2 ц/га; в 2016 и 2017 гг. получено 17.2 и 20.3 ц/га соответственно.

Наблюдения за динамикой показателей плодородия почв ведутся во время туров обследования, что позволяет проследить за ходом их изменений. Средневзвешенное содержание гумуса в почвах на территории, обслуживаемой ГСАС “Курганская”, в зависимости от туров обследования менялось следующим образом: 4.58% (1982–1990 гг.), 4.36 (1990–2000 гг.), 4.39 (2000 г.–настоящее время) и 4.28% (2005 г.–настоящее время). В северо-западной зоне почвы богаче гумусом, в этом случае изменения его содержания за период 1984–2016 гг., по данным САС “Шадринская”, были следующими: 5.35, 5.45, 5.36, 5.10 и 5.50% [8]. Повышение последнего показателя можно объяснить сокращением площадей посевов и оставлением в качестве пашни наиболее плодородных почв. Кроме этого, могло сыграть роль резкое уменьшение объемов обследования почв.

В отношении кислотности почв величины pH_{H_2O} сохранились на одном уровне. Показатель потенциальной кислотности pH_{KCl} начал снижаться с

1980-х гг. На территории ГСАС “Курганская”, начиная с наблюдений в 1982 г., изменения pH_{KCl} были следующими: 6.10, 5.75 и 5.74 ед. В северо-западной зоне величина pH_{KCl} изменилась со средневзвешенного показателя 5.82 в период 1965–1974 гг. до 5.34 для цикла 2013–2016 гг. (до слабокислой степени) [8].

Материалы наблюдений за свойствами почвы в исследованиях Курганского НИИСХ показали не только их варьирование в зонах области и во времени, но и позволили найти приемы, положительно действующие на показатели почвенного плодородия. Цель работы – изучить динамику плодородия черноземных почв под влиянием агротехнических приемов в условиях Курганской обл.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения за свойствами почвы в динамике вели в стационарных опытах отдела агрохимии Курганского НИИСХ. Схемы опытов предложены В.И. Волынкиным. В экспериментах отслежено изменение потенциального плодородия во времени и под влиянием удобрений. Описание опытов представлено в работах [9, 10].

Объекты исследования – почвы 3-х опытных полей Курганского НИИСХ. *Центральное опытное поле.* Почва – чернозем выщелоченный мало-мощный среднесуглинистый. Содержание гумуса по Тюрину в слое 0–20 см – 4.50%, валовых элементов питания: азота – 0.22, фосфора – 0.07, калия – 1.3%. Валовые запасы в слое почвы 0–20 см, т/га: гумус – 113, азот – 5.5, фосфор – 1.76, калий – 32.7; pH_{H_2O} 6.2–6.4, pH_{KCl} 6.2 в 1971 г., в 2016 г. – 5.0. Гидролитическая кислотность исходная – 2.46 ммоль(экв)/100 г, в 2006 г. – 3.92. Суммарное содержание катионов кальция и магния сохраняется на уровне 20–22 ммоль(экв)/100 г. Степень насыщенности ППК основаниями равна 85%. Содержание подвижных форм (по Чирикову), мг/кг: P_2O_5 – 38–40, K_2O – 200–250. Ежегодное применение фосфорного удобрения повышало содержание подвижного фосфора с 40 до 80–90 мг/кг. Накопление нитратного азота в пару в 1-метровом слое в среднем было равно 117 кг/га. Количество $N-NO_3$ в 1-метровом слое при применении N_{40-60} после непаровых предшественников повышалось до 90–120 кг/га (в контроле – 30–40 кг/га) [9, 10].

Шадринское опытное поле (северо-западная зона области). Почва – выщелоченный среднесуглинистый тяжелосуглинистый чернозем. Содержание гумуса в слоях 0–20 см и 0–30 см на участках 2-х опытов было равно 5.37 и 6.14%, валовых элементов

питания: азота — 0.36, фосфора — 0.13, калия — 0.70%. Валовые запасы в слое 0–20 см, т/га: гумуса — 135–155, азота — 9.1, фосфора — 3.33, калия — 17.9; pH_{H_2O} 6.2–6.4, pH_{KCl} 6.2 в 1971 г., в 2016 г. — 4.8 ед.; гидролитическая кислотность — 3.1 ммоль (экв)/100 г, сумма поглощенных оснований — 36.9 ммоль(экв)/100 г, степень насыщенности ППК основаниями — 84%. Содержание подвижных форм (по Чирикову), мг/кг: P_2O_5 — 68–72, K_2O — 150–170. Такое содержание подвижного фосфора в почве опытного поля сложилось в результате многолетнего применения в разных опытах навоза и суперфосфата (опытное поле действовало с 1916 г.). На этом повышенном фосфатном фоне в современных опытах под влиянием ежегодного внесения фосфорного удобрения содержание подвижного фосфора повысилось с 70 до 90–120 мг/кг. Запасы N- NO_3 в пару в 1-метровом слое в среднем были равны 85 кг/га, а после непаровых предшественников при применении N60–80 оно равнялись 80–90 кг/га (в контроле — 49 кг/га) [9, 10].

Макушинское опытное поле (восточная зона области). Почва — обыкновенный солонцеватый чернозем, тяжелосуглинистый и легкоглинистый. Содержание гумуса в слое почвы 0–20 см — 4.5–5.0%, валовых элементов питания: азота — 0.26, фосфора — 0.07, калия — 0.95%. Валовые запасы в этом слое почвы, т/га: гумуса — 118, азота — 6.1, фосфора — 1.6, калия — 22.4; pH_{H_2O} 7.3; суммарное содержание катионов кальция и магния — 44–47, натрия — 0.81–0.95 ммоль(экв)/100 г. Содержание подвижных форм, мг/кг: P_2O_5 (по Мачигину) — 3–4, (по Чирикову) — 28, K_2O — 170–185. На этом фосфатном фоне содержание подвижного фосфора от фосфорного удобрения повышалось с 28 до 45–50 мг/кг. Накопление N- NO_3 в пару в 1-метровом слое почвы в среднем было равно 194 кг/га, после непаровых предшественников — 85 в контроле и при применении N20–40 — 120–140 [9, 10].

Повторность при отборе смешанного образца в вариантах — 3–4 пробы с делянки во всех повторениях эксперимента. Площадь делянок в разных опытах — от 100 до 270 м². Повторность трехкратная.

Характеристику плодородия почв дополняет урожайность культур, сформированная на естественных фонах питания и улучшенных. Видные ученые-агрохимики Д.Н. Прянишников и Д.У. Кук при подборе удобрений под разные культуры считали обязательным “спросить у растения”. По их мнению, более точную оценку отзывчивости растений на агротехнические приемы можно получить в условиях длительных стационарных опытов [11–13]. Сильное влияние на свойства почвы

оказывают: удобрение культур, вид севооборота и система обработки почвы. Стационарные опыты служат своеобразными надежными реперными площадками для наблюдений за динамикой эффективного и потенциального плодородия почвы на экстенсивных и интенсивных фонах. Преимущество длительных стационарных опытов в том, что оцениваемые фоны имеют строго зафиксированную историю, что уменьшает роль случайных факторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На фонах применения достаточного количества минеральных или органических удобрений наблюдали положительное влияние средств химизации на содержание гумуса и другие агрохимические свойства почвы.

Удобрения способны существенно повышать содержание гумуса в почве. В нашем исследовании выявлена роль вида севооборота и удобрений. В короткоротационных севооборотах кукуруза–пшеница регулярно проводимые междурядные обработки в посеве кукурузы и ежегодная вспашка в условиях удаления соломы с поля в не-удобренных вариантах приводили к потерям гумуса. Например, на Центральном опытном поле в севообороте кукуруза–пшеница за период 1978–2016 гг. на фонах без удобрения отмечено снижение содержания гумуса с 4.40 до 3.90%. Еще в одном эксперименте с таким же севооборотом за 7 лет (с 1975 по 1982 гг.) содержание гумуса в контроле снизилось с 4.89 до 4.44%.

В зернопропашных севооборотах с насыщением зерновыми культурами на 75% и оставлением соломы в поле этого не наблюдали. Среди вариантов с удобрением выделены экономически эффективные состав и дозы удобрений. От уровня урожайности зависела степень воздействия агрофона на свойства почвы. Например, на Центральном опытном поле прибавки от удобрений в севообороте кукуруза–пшеница–пшеница–овес при ежегодной вспашке были высокими в тех вариантах опыта, где применяли азот в сочетании с фосфором, особенно при дозах азота N40–60 (рис. 1). В связи с бедностью почвы подвижным фосфором (40 мг/кг), азотно-фосфорное удобрение, примененное в севообороте, имело существенное преимущество перед внесением одного азотного. Аналогичной была закономерность для посевов бессменной пшеницы по стерне, выращиваемой на том же участке после 7-ми ротаций севооборота (табл. 1). С повышением урожайности при применении удобрений увеличивалось и содержание гумуса в слое 0–20 см почвы.

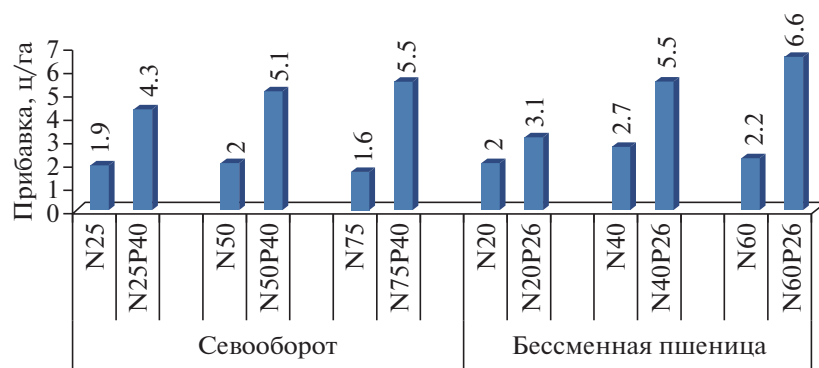


Рис. 1. Прибавки урожайности зерна (пшеницы и овса) в севообороте (1971–1998 гг.) и в посевах бесменной пшеницы (1999–2017 гг.), ц/га; урожайность зерновых в контроле в севообороте – 18,6, в посевах бесменной пшеницы – 10,1 ц/га.

В контроле этого опыта содержание гумуса варьировало по годам с небольшими изменениями при близких показателях к исходному уровню 4,5%. Изменение его содержания по годам коррелировало с варьированием урожайности за периоды перед очередным отбором почвенных образцов. После урожайных лет содержание гумуса было несколько больше, после засушливых лет – меньше, но в среднем в контроле отмечено сохранение его первоначального уровня. В севообороте при внесении N50–75P40 содержание гумуса повышалось. При меньшей дозе N25P40 увеличение его содержания было незначительным, при внесении только азотного удобрения его содержание снижалось. В последующие годы в посевах бесменной пшеницы по стерне эти закономерности подтвердились (табл. 2). Так как бесменные посева пшеницы с минимальной обработкой почвы широко распространились в производственной практике, то потребовалось изучение особенностей данного нового агрофона.

Переход от вспашки к минимизации обработки почвы в эксперименте отрицательно сказался на процессе накопления органического вещества, что связывают со снижением урожайности пшеницы на стерневых фонах [14]. В нашем исследовании кроме этого фактора имело значение и усиление засушливых явлений в годы выращивания бесменной пшеницы по сравнению с периодом севооборота и вспашки. К тому же в севообороте была более урожайная зерновая культура – овес, поэтому даже без удобрений продуктивность зерновых культур была равна 18,6 ц/га, отдельно пшеницы в севообороте – 15,8 ц/га. Урожайность бесменной пшеницы по стерне в контроле снизилась до 10,0 ц/га. Сравнение количества растительных остатков показало сильную зависимость массы остатков от величины урожайности культур (табл. 3). Солому оставляли на поле с 1978 г., с момента использования комбайна “Сампо-500”.

Расчетный баланс гумифицированного органического вещества (**ОВ_г**) подсчитан за 7 ротаций

Таблица 1. Продуктивность севооборота кукуруза–пшеница–пшеница–овес за 7 ротаций (1971–1998 гг.) и бесменной пшеницы (1999–2016 гг.), Центральное опытное поле

Вариант	Продуктивность в севообороте при вспашке, ц/га				Бесменная пшеница по стерне, ц/га		
	сухое вещество кукурузы	зерно 1-й и 2-й пшеницы после кукурузы	зерно овса	сумма з.е. за ротацию, 1971–1998 гг., ц з.е./га	вариант	урожайность	сумма сборов зерна за 4-летие
Контроль	42	15.8	23.8	61.1	Контроль	9.7	38.8
N75	52	17.7	24.9	68.3	N60	11.7	46.8
N25P40	54	19.8	28.7	76.1	N20P26	12.9	51.6
N50P40	63	21.5	28.4	81.5	N40P26	15.5	62.0
N75P40	65	20.8	28.3	80.4	N60P26	16.0	64.0
HCP ₀₅	11	1.7–2.1	1.5–3.2			1.9–3.1	

Таблица 2. Изменение содержания гумуса в слое 0–20 см почвы под влиянием удобрений (Центральное опытное поле), %

Вариант	Севооборот (1982, 1987, 1990, 1993, 1994, 1995 гг.)*		Бесменная пшеница (2006, 2008, 2011, 2012, 2016 гг.)*	
	Lim	Среднее	Lim	Среднее
N0P0	4.25–4.94	4.49	4.35–4.70	4.50
N ₂₋₃ **	4.23–4.62	4.42	4.48–4.64	4.56
N ₁ P26	4.25–5.60	4.70	4.23–4.68	4.41
N ₂ P26	4.97–5.63	5.24	4.56–5.14	4.83
N ₃ P26	4.97–6.67	5.38	4.70–5.69	5.17
HCP ₀₅	0.40		0.50	

* Те же сроки в табл. 3.

**В севообороте дозы N₁₋₂₋₃ = 25–50–75, в посевах бесменной пшеницы N₁₋₂₋₃ = 20–40–60 кг д.в./га.

Таблица 3. Среднегодовое количество растительных остатков в севообороте (1971–1998 гг.) и в посевах бесменной пшеницы (1999–2016 гг.), Центральное опытное поле

Вариант	Среднее количество остатков в разных технологиях, т/га			Гумус в слое 0–20 см почвы в севообороте и под бесменной пшеницей (1982–2016 гг.*), %
	за 7 ротаций	вариант	посев бесменной пшеницы	
Контроль	3.8	Контроль	2.8	4.51
N75	4.2	N60	3.5	4.49
N25P40	4.7	N20P26	3.7	4.59
N50P40	5.0	N40P26	4.4	5.06
N75P40	5.2	N60P26	4.8	5.32

севооборота и далее за 3 четырехлетия для посевов бесменной пшеницы, т.е. в целом за 40 лет опыта (28 лет в севообороте и 12 лет бесменной пшеницы). Расчет показал, что он был отрицательным в контроле без удобрений 7 раз, при применении N60 без фосфора – 3 ротации, в вариантах применения N25–20P40–26 – 2 раза, N50–40P40–26 – 1 раз, N75–60P40–26 – ни разу. Положительный баланс *ОВ₂* в последнем варианте существенно менялся. Более высоким он был в урожайных 3-, 5- и 8-й ротациях, равняясь 0.46–0.52 т/га. В очень засушливом 10-м четырехлетии баланс даже при высокой дозе азота составил всего лишь 0.07, в среднем за 10 ротаций – 0.24 т/га. Положительный баланс *ОВ₂* надежнее складывался, если поступление биомассы (корней, стерни и соломы) повышалось до 5–6 т/га, что отмечено только при внесении 2-й и 3-й доз азота с фосфором (в севообороте – N50–75P40, в повторных посевах – N40–60P26). В контроле пополнение почвы растительными остатками было значительно меньше: 3.0–4.0 т/га во влажные годы и 1.8–2.0 т/га – в засушливые.

В северо-западной зоне на Шадринском опытном поле за агрохимическими свойствами почвы проследили в 2-х опытах. Один из них – 30-летний эксперимент (опыт В.И. Волынкина, А.И. Себянина и В.П. Новоселова) с дозами фосфора в севообороте кукуруза–пшеница–ячмень, где ежегодно вели вспашку. Все поля севооборота размещены в пространстве. Дозы азота для выше-названных культур следующие: N100–40–60, в среднем в севообороте N67. Урожайность кукурузы повышалась с 51 ц сухого вещества/га в контроле до 84 при применении N100 и до 87–90 ц, если вносили P15–30. Сбор зерна пшеницы возрастал с 18.5 до 27.8 ц/га при внесении N40 и с 29.4 до 30.2 ц/га при внесении N40P15–30. Урожайность зерна ячменя 15.3 ц/га была в контроле без удобрения, повышаясь до 25.1 ц/га при применении N60 и до 26.1–27.0 в вариантах внесения N60P15–30. В этом опыте азот оказывал высокое действие даже без фосфорного удобрения, поскольку обеспеченность растений фосфором почвы опытного участка была повышенной (содержание P₂O₅ было равно 70–75 мг/кг). Оценка сделана по шкале Чирикова, скорректированной

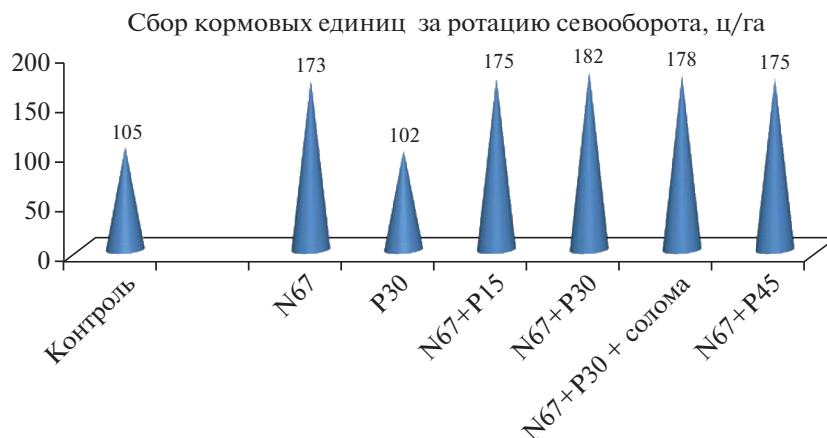


Рис. 2. Сбор кормовых единиц за ротацию севооборота кукуруза–пшеница–ячмень на Шадринском опытном поле (1978–2007 гг.).

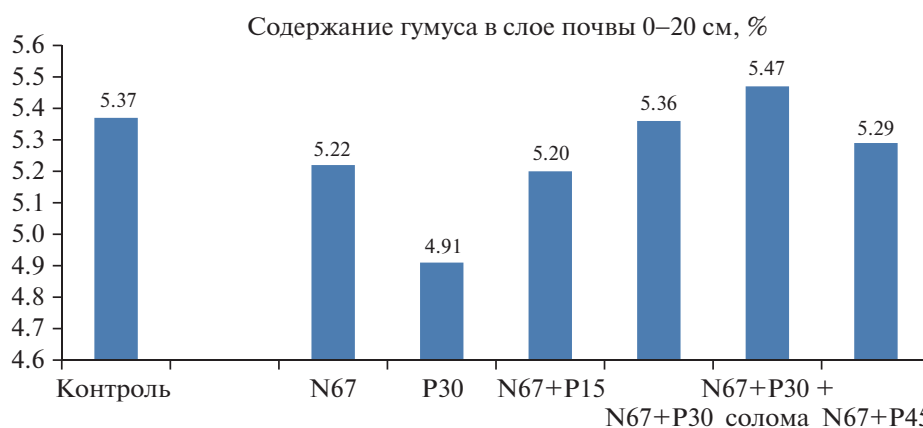


Рис. 3. Содержание гумуса в слое 0–20 см в севообороте кукуруза–пшеница–ячмень в опыте (Шадринское опытное поле, среднее в повторениях, $HCP_{05} = 0.5$).

для местных условий Зауралья: очень низкая обеспеченность – при содержании <20, низкая – 20–45, средняя – 45–60, повышенная – 60–80 и высокая – >80 мг/кг. Содержание P_2O_5 на уровне 70–75 мг/кг сложилось, как уже упоминалось, за счет многолетних экспериментов по применению навоза и минеральных удобрений на опытном поле, которое начало работать с 1916 г. Данные этого опыта показали необходимость иметь паспорт не только того поля, для которого подбирают дозы удобрений, но и паспорт опыта с агрохимической характеристикой почвы. Только тогда перенос результатов опыта в производство будет обоснованным.

Суммарный сбор кормовых единиц за ротацию севооборота кукуруза–пшеница–ячмень в вариантах с азотным удобрением повышался со 105 в контроле до 173 ц/га. В сочетании с фосфором дополнительное увеличение продуктивности

было небольшим. Применение соломы в качестве органического удобрения на урожайность не влияло (рис. 2).

Среднее для 3-х ярусов опыта содержание гумуса в контроле составило 5.37%. Близким оно оказалось в вариантах многолетнего применения удобрений в дозах N67P30–45, меньшим – при отдельном внесении азота и фосфора, особенно в варианте P30, где урожайность была всегда низкой. Без влияния на урожайность внесение соломы оказало положительное действие на содержание гумуса (в других вариантах солому удаляли с поля) (рис. 3).

Отметим, что в этом опыте агрохимическая характеристика почвы проведена поделочно. Смешанный образец готовили из 4–5 скважин на делянке, анализ вели для каждого повторения отдельно. Опыт размещен в 3-х ярусах. Содержание гумуса на участке уменьшалось от левого края

Таблица 4. Влияние доз азота в севооборотах и в посевах бессменных культур на содержание гумуса в почвах Шадринского опытного поля (слой 0–30 см, 2008 г.), %

Севооборот, бессменная культура	Дозы удобрений				
	без удобрения	N40P30	N80P30	N120P30	среднее
Зернопаровой	5.42	5.38	5.25	5.63	5.42
Бессменная кукуруза	5.62	5.36	5.69	5.95	5.65
Плодосменный	5.78	5.88	6.00	5.70	5.84
Бессменная пшеница	5.55	6.01	6.01	5.75	5.83
Среднее	5.59	5.66	5.74	5.75	5.68

Примечание. Исходное среднее содержание гумуса (по Тюрину) перед закладкой опыта в 1967 г. – 6.14%; запас – 215 т/га (опыт Овсянникова В.И., Харина Г.Н., Новоселова В.П. с 1968 г.) [9].

опыта к правому, а также от 1-го яруса к 3-му. Было по 3 контроля в повторении для каждой из 3-х культур севооборота (всего 27). Содержание гумуса в 27-ми контролях показало определенную пестроту почвы участка. Коэффициент вариации внутри ярусов: в 1-м – 5.1%, во 2-м – 8.1% и в 3-м – 15.9%. Среднее содержание гумуса во всех контролях – 5.37%.

Достовернее было оценить положительное действие соломы, добавленной к внесению N67P30, сопоставив содержание гумуса в этом варианте с рядом находящимся контролем. Такое сравнение было возможно вести для 9-ти пар дат. Среднее увеличение содержания гумуса при внесении соломы составило 0.32% в абсолютной величине (5.15 и 5.47% соответственно). Такое же сравнение влияния вариантов применения N67P15 и N67P30 с ближним контролем дало результат: 5.15% в контроле и 5.14 и 5.21% в вариантах применения минеральных удобрений без соломы соответственно. Удаление соломы с поля ограничивало количество органического материала для новообразования гумуса.

Во втором эксперименте на Шадринском опытном поле, который вели В.И. Овсянников и В.П. Новоселов, сравнивали разные виды севооборотов, где удобрения применяли при ежегодной вспашке. Сохранение содержания гумуса отмечено только под посевами бессменной пшеницы при применении N40–80P30. Остальные результаты наблюдений свидетельствовали о снижении содержания гумуса по сравнению с исходным средним для участка показателем 6.14% (табл. 4).

Снижение содержания гумуса за 40 лет в контроле и в вариантах с удобрением составило 0.5–0.7%. Наиболее заметными потери гумуса за 40 лет были в зернопаровом севообороте и под посевами бессменной кукурузы с внесением меньшей дозы удобрения. При высокой дозе (N120), несмотря на регулярные междурядные обработки почвы,

снижение содержания гумуса под бессменной кукурузой было небольшим – 0.2%.

В восточной зоне на Макушинском опытном поле на обыкновенном солонцеватом черноземе в 2008 г. в опыте с севооборотами (опыт В.И. Овсянникова, Г.П. Попова с 1969 г.) изучили влияние применения удобрений на содержание гумуса. В вариантах применения P30 и N40P30 содержание гумуса повысилось по отношению к контролю на 0.1% в зернопаровом севообороте и на 0.3–0.5% – под посевами бессменного овса. В вариантах с бессменной пшеницей определяли содержание гумуса в 2013 г. Фон – вспашка первые 30 лет и поверхностная обработка в следующие 15 лет. Почва в этом случае была очень бедна подвижным фосфором (28 мг/кг), что было причиной эффективного действия внесения P30 (табл. 5).

На фоне применения P30 урожайность пшеницы повышалась на 4.0–8.0 ц/га в первые годы при внесении суперфосфата. В дальнейшем прирост урожайности в этом варианте был ≈3–5 ц/га. С 2000 г. перестали вносить фосфорное удобрение. В следующие 15 лет опыта последствие суммарной дозы фосфора P900 было существенным.

Азотный режим обыкновенного солонцеватого чернозема по условиям азотного питания по сравнению с выщелоченным был более благоприятным. Это объясняется нейтральной реакцией почвенного раствора, усиливающей деятельность микроорганизмов-нитрификаторов. Поэтому при внесении азота дополнительно к дозе P30 усиление азотного режима было небольшим, а первые 3 года внесение азота на фоне P30 не давало эффекта. Затем он стал проявляться, усиливаясь в годы с достаточным увлажнением. Тем не менее, экономическая оценка 3-х доз азота показала, что в обыкновенный солонцеватый чернозем достаточно к P30 добавлять N20.

Таблица 5. Урожайность бессменной пшеницы (1970–2014 гг.) и содержание гумуса в вариантах на 44-й год опыта (2013 г.), Макушинское опытное поле

Вариант	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га	Гумус в слое 0–20 см, %
	первые 30 лет	вариант	следующие 15 лет	средне-взвешенная		
Контроль	12.2	Контроль	14.4	12.9	–	5.05
P30	17.1	П*P900	17.7	17.3	4.4	5.34
N20P30	19.1	N20ПP900	18.8	19.0	6.1	4.98
N40P30	20.5	N40ПP900	21.0	20.7	7.8	4.86
N60P30	21.9	N60ПP900	19.1	21.0	8.1	–

*П – последствие 30-летнего применения суперфосфата.

Повышенная урожайность пшеницы в варианте P30 привела к увеличению содержания гумуса с 5.05% в контроле до 5.34%. При совместном внесении азота и фосфора содержание гумуса оставалось близким к контролю.

Кислотность почвы. В опытах Курганского НИИ-ИСХ на выщелоченных черноземах Центрального и Шадринского опытных полей с 1980-х гг., как и в агрохимслужбе области, наблюдали подкисление почвы с изменением pH_{KCl} с 6.2–6.4 до 5.0. С течением времени подкисление было отмечено как в контроле, так и в других вариантах. Действовали 2 фактора – временной и применение удобрений. При этом содержание суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} сохранялось на исходном уровне – 20–22 на Центральном поле и 36.9 ммоль(экв)/100 г – на Шадринском поле.

В обыкновенном солонцеватом черноземе восточной зоны на Макушинском опытном поле кислотность почвы менялась с переходом от нейтрального pH_{H_2O} к щелочному. В слое 0–20 см на 44-й год опыта величина pH_{H_2O} в контроле стала равной 8.03, тогда как исходная была равна 7.3. В вариантах применения N20–40P30 изменения были более заметными – до 8.25 и 8.12. В глубоких слоях чернозема под удобренным посевом величина pH_{H_2O} была еще больше – до 8.8–8.9. В слое 20–100 см при внесении удобрений по сравнению с контролем наблюдали более сильное подщелачивание почвенного раствора. На этой глубине содержание поглощенного натрия составляло 3–4 ммоль(экв)/100 г при его наличии в слое 0–20 см < 1 ммоль(экв)/100 г. Небольшие изменения кислотности в слое 0–20 см могли быть вызваны подъемом поглощенного натрия с восходящим током влаги в годы с повторениями засух. Более заметным это было на фоне применения удобрений, что связано с более интенсивным развитием корневой системы пшеницы в удобренных вариантах и переносом Na^+ в

верхние слои почвы [15]. Постепенно доля натрия в составе ППК возрастала. При восходящем токе влаги некоторая часть натрия переходила из ППК в водный раствор. С испаряемой влагой соли натрия поднимались из нижних горизонтов почвы в верхние, вызывая их постепенное осолонцовывание. Несмотря на увеличение количества поглощенного натрия в гумусовом горизонте, чернозем остался слабосолонцеватым, поскольку содержание катиона не превышало 1 ммоль(экв)/100 г.

Влияние удобрений на состояние микробоценоза почвы. Показатели содержания гумуса, нитратного азота и подвижного фосфора – это свидетельство активной деятельности микроорганизмов, определяющей биологическое плодородие почвы. Важную роль играют бактерии, среди них в почве преобладают гетеротрофы, которые питаются готовыми органическими веществами. Меньшее их количество представлено аутотрофами, которые, как и растения, создают из неорганических веществ органические, и сапрофитами, питающимися мертвым органическим веществом. Кроме бактерий в почве есть грибы (их доля составляет 1/40 от количества бактерий), а также актиномицеты (1/10 от численности бактерий). Во влажные годы в почве присутствуют водоросли (до 10 тыс./г почвы). Из класса Protozoa в почве встречаются корненожки, жгутиковые и реснитчатые инфузории, которые питаются бактериями и грибами. На углерод микробной массы приходится 24–81% углерода, потенциально минерализуемого в окультуренных почвах. Активность деятельности микроорганизмов в почве регистрируется по выделению углекислого газа [2].

До 90–95% азота, внесенного с удобрением, включается в состав микробной массы, затем происходит ее минерализация. Ее количество и видовой состав зависит от количества осадков и температурного режима [16]. Средние показатели содержания углерода микробной массы в черно-

Таблица 6. Влияние систем удобрения на микробоценоз чернозема выщелоченного (Шадринское опытное поле, 2008 г.)

Показатель	Контроль	ОУ 30 т/га	N67P30	N67P30 + солома	Целина
Микробная биомасса ($C_{\text{микр}}$), мг/кг	607 ± 0	682 ± 3	678 ± 10	687 ± 8	924 ± 0
Численность физиологических групп микроорганизмов (ФГМ), тыс. КОЕ/г почвы:					
аммонифицирующие (МПА)	14200	17300	15400	16900	33700
амилолитические (КАА), общая	16300	25600	20600	24300	59400
в том числе бактерии	13000	22200	17500	20100	55200
Актиномицеты	3390	3410	3110	4130	4200
целлюлозолитические на среде Гетчинсона, общая	13.1	31.6	20.5	23.7	19.3
в том числе бактерии	1.3	9.4	2.5	6.0	8.8
Грибы	1.7	3.4	3.4	4.7	0.0
Актиномицеты	10.1	18.8	14.6	13.0	10.5
микромицеты на среде Чапека	41.5	53.8	46.6	46.0	85.1
денитрификаторы	254	576	1890	258	1330
<i>Cl. pasterianum</i>	12.1	57.6	25.2	148	13.3
Суммарная биологическая активность, %	100	226	242	314	264
Коэффициент минерализации	1.15	1.48	1.34	1.44	1.76

земе целинном – 52.3, в пахотном – 44.0 и залежном – 47.8 мг С/100 г почвы [17].

Прямой метод исследования микрофлоры почв на мясопептонной агаризованной среде (МПА) дает сведения о бактериях-аммонификаторах, разлагающих белки животных и растительных остатков с образованием аминокислот, которые после дезаминирования превращаются в аммиак и другие соединения. Нитрификаторы – бактерии, окисляющие аммиак в нитриты, а затем в нитраты, их определяют на среде Виноградского. Денитрификаторы – бактерии, восстанавливающие нитраты в газообразный азот, их определяют на среде Гильгата. На среде Гетчинсона прорастивают аэробные целлюлозоразлагающие микроорганизмы. На крахмало-аммиачном агаре (КАА) определяют актиномицеты [18]. Микробная биомасса, составляя от 0.4 до 6.7% от углерода органического вещества (*ОВ*), является основным компонентом минерализуемого пула *ОВ* почвы [19].

Анализ микрофлоры пахотного слоя почвы проведен на Шадринском опытном поле в тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе. Минеральное и органическое удобрения существенно повышали численность микроорганизмов по сравнению с неудобренной почвой. Внесение органических удобрений (навоза, соломы, особен-

но навоза) заметнее увеличивало количество всех групп микроорганизмов (табл. 6).

Уровень формирования урожайности свидетельствует об отзывчивости растений на повышение биологической активности почвы. В севообороте кукуруза–пшеница–ячмень на тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе урожайность одной из культур – пшеницы – в вариантах составила: 18.5 ц/га – в контроле, 23.4 – в варианте с последствием навоза (вносили в дозе 30 т/га в 1-м поле под кукурузу). Удобрение N67 было эффективнее, повысив урожайность зерна пшеницы до 30.2 ц/га. Добавление к N67P30 соломы не меняло урожайность, она была равна 30.0 ц/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В полевых стационарных опытах было выявлено, что в выщелоченном черноземе в короткороотационном севообороте кукуруза–пшеница в неудобренных вариантах содержание гумуса уменьшалось. В 4-польном зернопропашном севообороте с кукурузой и 3-мя зерновыми культурами, а также в посевах бессменной пшеницы содержание гумуса в контроле во времени оставалось на одном уровне. При внесении второй (N50–40) и третьей (N75–60) доз азота совместно с фосфором содержание гумуса повышалось на

0.7–0.9% в условиях севооборота и на 0.3–0.5% в посевах бессменной пшеницы, возделываемой на том же участке после севооборота.

В эксперименте на Шадринском опытном поле в 9-ти повторениях оценено положительное влияние соломы на содержание гумуса по отношению к рядом размещенному контролю (на 0.32%). Из приемов удобрения положительным действием выделили применение дозы N67, отрицательным – одностороннее применение фосфорного удобрения на зафосфаченной ранее почве, где урожайность всегда была невысокой. Использовать эти результаты опыта в виде рекомендаций для производственных полей можно только на участках с аналогичными агрохимическими характеристиками. Почвы Шадринского района по обеспеченности подвижным фосфором – среди лучших в области, т.к. ранее район был объявлен зоной сплошной химизации, но встречаются участки с содержанием 40 мг P₂O₅/кг, которое было до широкого применения удобрений.

На Шадринском опытном поле в другом 40-летнем опыте с разными севооборотами отмечено снижение содержания гумуса, более заметное в зернопаровом севообороте, несмотря на применение удобрений. Размеры снижения равнялись 0.5–0.7% к средней исходной величине на участке (6.14%). Под посевами бессменной кукурузы на фоне меньшей дозы удобрения N40P30 уменьшение содержания гумуса достигло почти 0.8%, но при внесении N120P30 его снижение составило 0.2%. Под посевами бессменной пшеницы отмечено сохранение содержания гумуса при условии применения азотно-фосфорного удобрения N40–80P30.

В обыкновенном солонцеватом черноземе Макушинского опытного поля содержание гумуса повышалось при применении удобрений на 0.1% в зернопаровом севообороте и на 0.3–0.5% под посевами бессменного овса. При выращивании бессменной пшеницы высокоэффективным был вариант P30, где отмечено повышение содержания гумуса на 0.3%. При применении азотно-фосфорного удобрения содержание гумуса оставалось практически на уровне контроля. При удалении во времени культуры от пара на этой почве достаточно вносить N20–30P15–20.

Кислотность выщелоченных черноземов за 40 лет возросла при изменении величины рН_{KCl} в контроле с 6.2–6.4 до 5.4 на Центральном опытном поле и до 5.2 на Шадринском, т.е. на 1 ед. Удобрения несколько повысили ее дополнительно, понизив показатель рН_{KCl} к современному контролю на 0.2 ед. В обыкновенном солонцеватом черноземе в восточной зоне отмечено подше-

лачивание почвенного раствора в связи с подъемом поглощенного натрия нижних слоев почвы в гумусный горизонт.

Анализ микрофлоры почвы показал, что удобрения увеличили численность микроорганизмов, определяемых на средах МПА, КАА и других. Суммарная биологическая активность в тяжело-суглинистом выщелоченном черноземе Шадринского опытного поля повысилась со 100% в контроле до 226% при применении органического удобрения, до 242% при внесении N67P30 и до 314%, если к минеральному удобрению добавляли солому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под ред. Иванова А.Л., Державина Л.М. М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.
2. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. 318 с.
3. *Фрид А.С., Королева И.Е., Булгаков Д.С., Карманов И.И., Шишконокова Е.А., Грибов В.В.* Плодородие почв, основные понятия // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. Т. 2. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2013. С. 5–8.
4. *Ганжара Н.Ф.* Гумус, свойства почвы и урожай // Почвоведение. 1998. № 7. С. 812–819.
5. *Шульц Э., Кершенс М.* Характеристика разлагаемой части органического вещества почвы и ее трансформация при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. 1998. № 7. С. 890–894.
6. *Храмцов И.Ф.* Система применения удобрений и воспроизводство плодородия почв в полевых севооборотах лесостепи Западной Сибири // Проблемы экспериментальной агрохимии. Научно-педагогическая агрохимическая школа академика РАСХН Г.П. Гамзикова. Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2013. С. 314–327.
7. *Шарков И.Н., Шенелев А.Г., Мишина П.В.* Продуцирование СО₂ пашней на черноземе выщелоченном в условиях центральной лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2013. № 5. С. 51–57.
8. Состояние плодородия пашни Курганской области на 01.01.2016 года в картограммах, диаграммах и таблицах. Курган, 2016. 27 с.
9. Длительные стационарные опыты КНИИЗХ по изучению вопросов земледелия (агрохимии, земледелия, семеноводства, кормопроизводства). Аннотированный сборник рекомендаций. Курган, 1986. 115 с.
10. Система земледелия Курганской области: Рекомендации. Новосибирск, 1988. 216 с.
11. *Кук Д.У.* Регулирование плодородия почвы. М.: Колос, 1970. 520 с.

12. Кук Д.У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев. Пер. с англ. М.: Колос, 1975. 416 с.
13. Прянишников Д.Н. Избр. сочинения. М.: Госсельхозиздат, 1952. Т. 1. 691 с.
14. Шарков И.Н. Минимизация обработки почвы, запас органического вещества и минерализация почвенного азота // Роль современных технологий в устойчивом развитии АПК: Мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. Т.С. Мальцева. Курган: Дамми, 2006. С. 305–311.
15. Елешев Р.Е., Конопьянов К.Е. Современные проблемы на пахотных землях и концепция совершенствования агротехнологий на северо-востоке Казахстана // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия (к 100-летию со дня рожд. акад. ВАСХНИЛ А.И. Бараева): Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. ГНУ ВНИИЗ ЗПЭ, 10–12 сентября 2008 г. Курск, 2008. С. 14–19.
16. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П. Последствие многолетнего внесения азотного удобрения на продуктивность обыкновенного чернозема // Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии. Мат-лы 49-й Международ. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов. М., 2015. С. 256–258.
17. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д. Углерод микробной биомассы мучнисто-карбонатных черноземов Западного Забайкалья // Агрохимия. 2013. № 8. С. 3–10.
18. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // Агрохимия. 2011. № 12. С. 53–63.
19. Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.

Dynamics of Soil Fertility with Long-Term Application of Fertilizers in the Kurgan Region

V. I. Volynkin^a, O. V. Volynkina^{a, #}, and A. N. Kopylov^a

^a Kurgan Research Institute of Agriculture—Branch of the Ural Federal Agricultural Research Centre, Ural Branch of RAS
ul. Lenina 9, Ketovskoy district, Kurgan region, s. Sadovoye 641325, Russia

[#]E-mail: kniish@ketovo.zauro.ru

The dynamics of agrochemical properties of the soil under the influence of time and the use of fertilizers in stationary field experiments on 3 experimental fields of Kurgan niiskh, located in different areas of the Kurgan region – North-West (Shadrinskoye field), Central (Central field) and Eastern (Makushinskoye field), respectively, on chernozems leached heavy loam, leached medium loam and ordinary brackish light clay was shown. In the Central and Makushinskoye experimental fields, the preservation of humus content in the soil was noted under permanent crops of wheat and oats in the grain crop rotation, fertilized with N40–60R26. On Shadrinskoye experimental field for 40 years of one of the experiments in all types of crop rotations there was a decrease in humus content by 0.3–0.5%. Least it was under permanent wheat, large – in grain-fallow crop rotation. The positive effect of straw on the humus content was shown on the Shadrinskoye experimental field. The acidity index of leached chernozems (pH_{KCl}), for 40–47 years of experiments decreased by 1.0 units in the control and by 1.2 units in the fertilized variants at the initial value of pH_{KCl} 6.2–6.4. Ordinary alkaline black soil with initial value pH_{H_2O} 7.3 observed alkalization of the soil solution in connection with increase in quantity of sodium in soil absorbing complex.

Key words: soil fertility, long-term use of fertilizers, Kurgan region.