

Качественный состав гумуса чернозема выщелоченного в севооборотах северной лесостепи Южного Урала

Л. П. Шаталина¹✉, Ю. Б. Анисимов¹, Е. Л. Калюжина¹

¹ Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
Тимирязевский, Россия

✉ E-mail: lubashatalina@mail.ru

Аннотация. Целью исследований было установить степень агрогенного воздействия на качественный состав гумуса мониторингом содержания углерода общего, углерода гуминовых и фульвокислот в пахотном слое почвы чернозема выщелоченного. Проведена сравнительная оценка динамики группового состава гумуса чернозема выщелоченного в условиях северной лесостепи Челябинской области в различных севооборотах на двух фонах удобрённости Р и NР. **Методы.** Исследования проводили в длительном полевом опыте с 1998 по 2021 гг. Групповой состав гумуса определялся в почвенных образцах, отобранных с каждого варианта опыта через каждые пять лет, ускоренным пирофосфатным методом по схеме И. В. Тюрина в модификации В. В. Понамаревой и Т. А. Плотниковой. **Результаты.** По результатам наших исследований качественных показателей гумуса было установлено, что слабокислые почвы чернозема выщелоченного при длительном внесении минеральных удобрений в умеренных дозах характеризовались доминирующим содержанием углерода гуминовых кислот (C_k) независимо от вариантов севооборотов. Установлено, что среднее отношение содержания углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот на фоне Р в зерновом двухпольном севообороте по сравнению с зернопаровым четырехпольным севооборотом на 25 % шире. При бессменном возделывании яровой пшеницы на фоне минерального питания NР отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот (C_k/C_{fk}) в среднем за период исследований было на 20,5 % более широким по сравнению с зернопаровым четырехпольным севооборотом за счет снижения процесса гумификации. Установлены сильные корреляционные зависимости между содержанием углерода общего от осадков вегетационного периода на фоне Р в зернопаровом четырехпольном севообороте и зерновом двухпольном. **Научная новизна** заключается в исследовании динамики изменений направленности группового состава гумуса в различных севооборотах при разных уровнях удобрённости и агротехнологиях возделывания.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, гумус, углерод фульвокислот, углерод гуминовых кислот, минеральные удобрения, севооборот.

Для цитирования: Шаталина Л. П., Анисимов Ю. Б., Калюжина Е. Л. Качественный состав гумуса чернозема выщелоченного в севооборотах северной лесостепи Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2022. № 09 (224). С. 33–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-33-46.

Дата поступления статьи: 10.06.2022, **дата рецензирования:** 27.06.2022, **дата принятия:** 07.07.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

В системе гумусовых веществ почв наблюдаются негативные изменения, что отмечается в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [19]. Морфологические особенности чернозема выщелоченного – это преобладающий тяжелосуглинистый гранулометрический состав. Материнской породой преимущественно служат yellow-brown deluvial carbonate clays и heavy loam, изредка встречаются и породы более легкого гранулометрического состава. Черноземные почвы наиболее плодородны и ценны, их образование во многом

связано с развитием разнотравно-злаковой растительности (pluma: fescue, adsurgit, avena, tolles adirem, sapiens, lyadvenets, lactariis medica flavo, bell), которая, в свою очередь, с климатическими условиями оказывает большое влияние на процессы гумификации органического вещества. Современные системы земледелия подразумевают не только сохранение достигнутого уровня гумусного состояния почв, но и разработку методов и приемов управления его качественным составом. Агрогенное влияние на пахотный слой почвы оказывает не только интенсивность использования пашни,

но и масштабность проводимых агротехнических мероприятий как один из самых быстрых мощных факторов эволюции почвенного покрова. При сельскохозяйственном освоении верхние горизонты почв подвергаются механическому и химическому воздействию, вследствие чего нарушается баланс поступления органических и минеральных веществ и микробиологической активности почв, наступает прогрессирующая деградация черноземов [1; 2].

Регулировать процесс почвенной деградации и оптимизировать содержание гумусовых веществ почвы можно вовлечением пожнивно-корневых остатков в биокруговорот [3; 4].

Проектировать севообороты в соответствии с экологическими принципами, нацеленными не только на увеличение продуктивности, но и на реализацию их влияния на плодородие почвы [5; 6], – основная задача при повышении конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции.

Черноземы выщелоченные представляют основную часть общей площади пахотных земель Челябинской области (до 30,2 %). Гумусовые вещества в разной степени устойчивы к расщеплению и стабильности, поэтому одной из первоочередных задач современного земледелия можно назвать направленность на качественный состав гумуса, обеспечивающий повышение плодородия почвы. Нет однозначного мнения о влиянии применения удобрений, интенсивности использования пашни на качественный состав гумуса. Недостаточно оценивать уровень плодородия по уровню гумусированности, необходимо иметь четкие оценки его качественных характеристик. В почве при использовании удобрений возникают новые уровни локального состояния гумуса, соответствующие поступлению органического вещества с растительными остатками и удобрениями и его минерализации [7]. Процессы синтеза и минерализации гумуса напрямую влияют на его групповой состав [8].

Цель исследований – установить степень изменения группового состава гумуса в зависимости от интенсивности использования пашни в севооборотах.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследований была почва чернозема выщелоченного Южного Урала. Верхний горизонт почвы – пахотный слой, аккумулирующий органическое вещество. Глубина пахотного слоя почвы под опытным участком небольшая (25–30 см); реакция почвенной среды слабокислая и нейтральная ($pH = 5,1...7,0$); обеспеченность подвижным фосфором слабая (4,5 мг / 100 г почвы); содержание гумуса – 6–6,5 %; сумма поглощенных оснований – 28–30 мг-экв / 100 г почвы; гранулометрический состав тяжелосуглинистый.

Исследования проводили в длительном полевом опыте. Госзадание темы – изучить эффективность ресурсного потенциала пахотных земель и сельскохозяйственных культур на основе оптимизации полевых севооборотов на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» с 1998 по 2021 гг.

Схема опыта реализована на двух фонах минерального питания: фон Р и фон NP:

1. Зернопаровой четырехпольный севооборот: фон Р-Р₂₂ и фон NP-N₃₀-P₂₂.
2. Зернопаротравяной 10-польный севооборот: фон Р-Р₂₇ и фон NP-N₃₆-P₂₇.
3. Зерновой двухпольный севооборот: фон Р-Р₃₀ и фон NP-N₈₀-P₃₀.
4. Пшеница бессменно: фон Р-Р₃₀ и фон NP-N₈₀-P₃₀.

С 2011 г. фон Р – без удобрений. Схема опыта включала различные варианты севооборотов:

1. Зернопаровой четырехпольный севооборот: пар – озимая рожь – горох – пшеница.
2. Зернопаротравяной десятипольный севооборот: пар – озимая рожь – горох – пшеница – ячмень – люцерна – люцерна 2-го года – люцерна 3-го года – пшеница – пшеница.
3. Зерновой двухпольный севооборот: овес – пшеница.
4. Яровая пшеница бессменно.

Агротехника в опыте общепринятая для лесостепных агроландшафтов Челябинской области, основанная на отвальной обработке почвы [9, с. 8–10]. Для экологизации земледелия академик В. И. Кирюшин указывает, что значительный приоритет имеет развитие минимизации обработки почвы и прямого посева и с 2014 г. агротехника в опыте проводилась по нулевой технологии [10].

Групповой состав гумуса определялся в почвенных образцах, отобранных с каждого варианта опыта, через каждые пять лет ускоренным пирофосфатным методом по схеме И. В. Тюрина в модификации В. В. Понамаревой и Т. А. Плотниковой.

Для математической обработки данных использовалась компьютерная программа статистической обработки данных Snedekor.

Результаты (Results)

Известно, что любые изменения в землепользовании ведут к изменению запасов углерода и других биогенов в почвах, поэтому необходим мониторинг их содержания для осуществления эффективного контроля и управления почвенными ресурсами. Вовлечение черноземов в пашню сопровождается изменением как содержания, так и состава гумуса, а трансформация гуминовых кислот имеет важнейшее значение для исполнения их эколого-продукционных функций [11]. Более полная картина содержания органического углерода,

используемого для расчета количества гумуса, наблюдается при изучении группового и фракционного состава гумуса [12]. Для выщелоченных черноземов характерно преобладание зрелых гуминовых кислот, что свидетельствует о высоком потенциальном плодородии этих почв [13]. В составе гумуса на выщелоченных черноземах наблюдается тенденция к росту сложных гумусовых кислот с большей интенсивностью по сравнению с черноземами типичными [14]. Минеральные удобрения оказывают длительное неблагоприятное воздействие на органическое вещество, уменьшают уровень содержания общего углерода и количество гуминовых кислот в составе органического вещества. В настоящее время исследования, посвященные геохимическим циклам биогенных элементов, особенно актуальны в связи с глобальными изменениями климата [15–19].

Исследования почвы проводились на восточном склоне Южного Урала и прилегающей зоне Зауралья. Годовая сумма осадков колебалась в пределах 350–450 мм с увеличением на юге до 700 мм. Преобладают равнинные пространства с

высотой над уровнем моря от 200 до 400 м. Разнообразие рельефа, неоднотипность увлажнения и климатических показателей указывают на неоднородность почвенного покрова. Почвы чернозема выщелоченного занимают 1249,7 тыс. га из общей площади пахотных земель Челябинской области. На этих почвах сосредоточена большая часть земельного ресурса сельскохозяйственного производства растениеводческой продукции, а наблюдение за сохранением и восполнением почвенного плодородия стало одной из задач наших исследований. Плодородие почв оценивается по состоянию гумусового слоя пахотного горизонта, по мониторингу баланса гумуса в зависимости от агрогенного воздействия.

Качественный состав гумуса определяется отношением углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, для расчетов используется содержание углерода общего. В результате изучения мониторинга изменений углерода общего в пахотном слое почвы чернозема выщелоченного установлено, что бессменное возделывание яровой пшеницы существенно снижает его на 12 % (таблица 1).

Таблица 1
Динамика содержания углерода гуминовых кислот в слое почвы 0–20 см чернозема выщелоченного по вариантам опыта, %

Вариант севооборота (фактор А)	Фон минерального питания (фактор В)	Годы (фактор С)						Различия по А
		1998	2003	2008	2013	2021	Среднее	
1. Зернопаровой четырехпольный	P	1,47	1,47	1,60	1,64	1,46	1,53	контроль
	NP	1,75	1,50	1,66	1,69	1,84	1,69	
2. Зернопаротравяной десятипольный	P	1,31	1,53	1,46	1,38	1,48	1,43	–0,08
	NP	1,46	1,69	1,66	1,61	1,70	1,62	
3. Зерновой двухпольный	P	1,49	1,61	1,77	1,62	1,54	1,56	–0,09
	NP	1,45	1,29	1,43	1,40	1,58	1,47	
4. Яровая пшеница бессменно (контроль)	P	1,40	1,12	1,13	1,77	1,89	1,46	–0,185
	NP	1,37	1,10	1,07	1,76	1,62	1,38	
Средние по С		1,46	1,41	1,47	1,61	1,64		
Различия по С		K	–0,05	0,01	0,15	0,16		
HCP _{0,5} A = 0,11; HCP _{0,5} B = 0,07 не сущ.; HCP _{0,5} C = 0,11; HCP _{0,5} AB = 0,15; HCP _{0,5} AC = 0,24; HCP _{0,5} BC = 0,17 не сущ.								

Table 1
Dynamics of the carbon content of humic acids in the soil layer 0–20 cm of leached chernozem according to the variants of the experiment, %

Crop rotation option (factor A)	Background of mineral nutrition (factor B)	Years (factor C)						Differences by A
		1998	2003	2008	2013	2021	Average	
1. Grain-steam four-pole	P	1.47	1.47	1.60	1.64	1.46	1.53	control
	NP	1.75	1.50	1.66	1.69	1.84	1.69	
2. Grain – and – grass ten-field	P	1.31	1.53	1.46	1.38	1.48	1.43	–0,08
	NP	1.46	1.69	1.66	1.61	1.70	1.62	
3. Grain two-floor	P	1.49	1.61	1.77	1.62	1.54	1.56	–0,09
	NP	1.45	1.29	1.43	1.40	1.58	1.47	
4. Spring wheat – without change	P	1.40	1.12	1.13	1.77	1.89	1.46	–0,185
	NP	1.37	1.10	1.07	1.76	1.62	1.38	
Average by C		1.46	1.41	1.47	1.61	1.64		
The differences by C		K	–0.05	0.01	0.15	0.16		
LSD _{0,5} A = 0.11; LSD _{0,5} B = 0.07 insignificant; LSD _{0,5} C = 0.11; LSD _{0,5} AB = 0.15; LSD _{0,5} AC = 0.24; LSD _{0,5} BC = 0.17 insignificant.								

Это связано с уменьшением емкости катионного обмена (ЕКО) в почвенно-поглощающем комплексе (ППК), величина которой составила 31,6 м-экв / 100 г почвы, что существенно меньше по сравнению с другими вариантами опыта при степени насыщенности основаниями 86 %. Отмечено, что содержание углерода общего по годам исследований существенно зависит от севооборота и условий года.

Условия лет отбора почвенных проб были различными: 1998 и 2021 гг. засушливые (ГТК = 0,7), сумма положительных температур (S) составила 2584 °С и 2679 °С; 2003 и 2008 гг. обеспеченно-влажные (ГТК = 1,4), S = 2581 °С и ГТК = 1,5, S = 2427°С; 2013 г. избыточно увлажненный (ГТК = 1,8), S = 2729 °С. Процесс разложения растительных остатков в связи с этим идет с различной скоростью в зависимости от микробиологической активности почв. В теплый влажный период микробиологическая активность почв высокая.

Содержание общего органического углерода почвы в зернопаровом четырехпольном севообороте и зерновом двухпольном севообороте на фоне удобрения Р зависит от осадков за период вегетации сельскохозяйственных культур на 72 % и 62 % соответственно (рис. 1).

Варианты севооборотов 1 и 3 имеют равнозначные коэффициенты корреляции и на фоне удобрения NP. Зависимость содержания углерода органического от осадков вегетационного периода составляла 35 %.

Слабая корреляционная зависимость между содержанием органического углерода почвы и осадками за вегетационный период установлена в зернопаротравяном 10-польном севообороте на фоне удобрения Р и при бессменном возделывании яровой пшеницы на фоне NP. Следовательно, осадки за вегетационный период способствуют большому поступлению пожнивно-корневых остатков в пахотный слой почвы в 1 и 3 варианте севооборотов на фоне удобрения Р.

В результате корреляционного анализа установлена сильная зависимость содержания органического углерода почвы от суммы положительных температур на 3 варианте (зерновой двухпольный севооборот) на 64 % (рис. 2).

Содержание углерода общего органического в варианте севооборота 1 (фон Р) и 3 (фон NP) зависит на 55 % от суммы положительных температур воздуха. Установлена корреляционная зависимость между содержанием углерода общего органического с годовым количеством осадков (рис. 3).

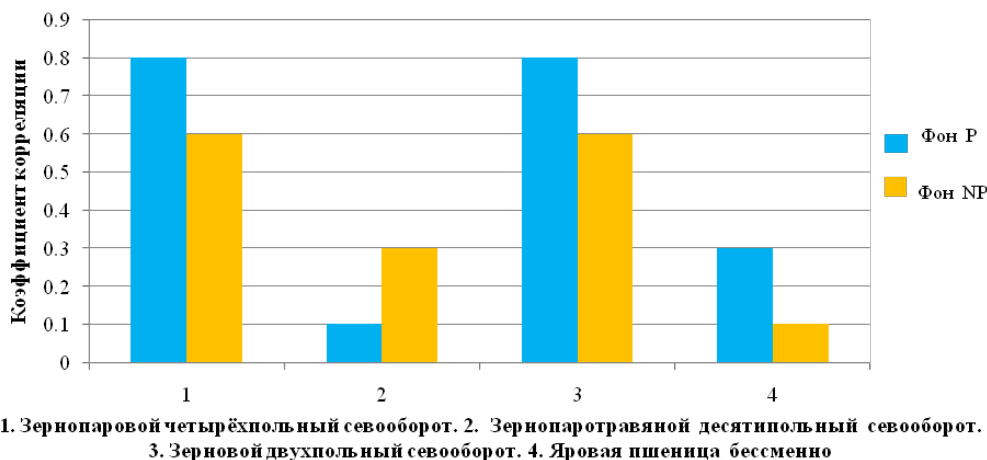


Рис. 1. Коэффициенты корреляции содержания общего органического углерода почвы с осадками за вегетационный период за 1998–2021 гг.

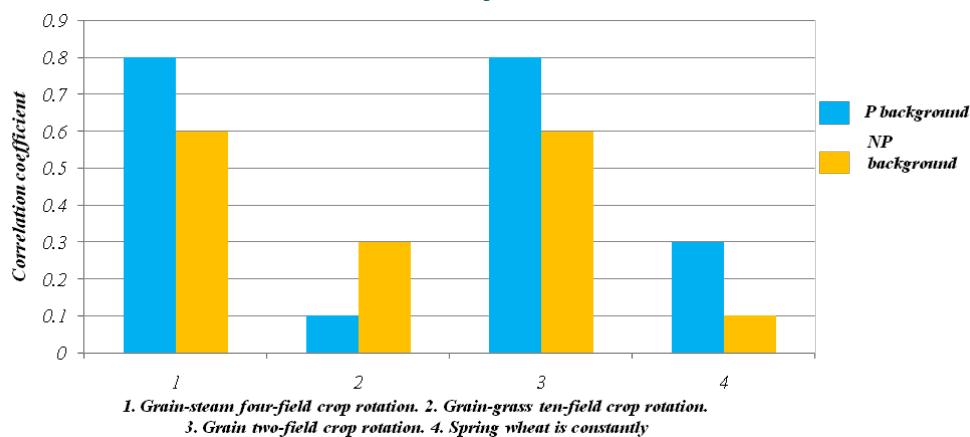
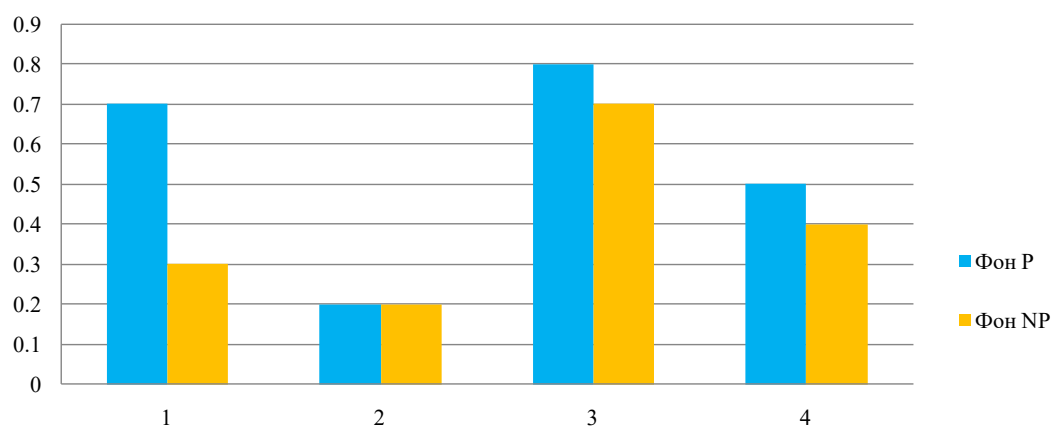
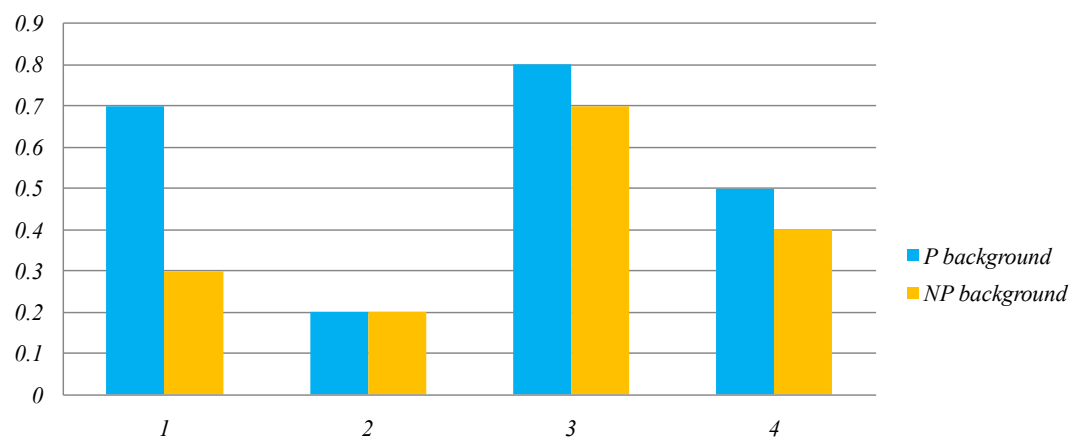


Fig. 1. Correlation coefficients of the total organic carbon content of the soil with precipitation during the growing season for 1998–2021



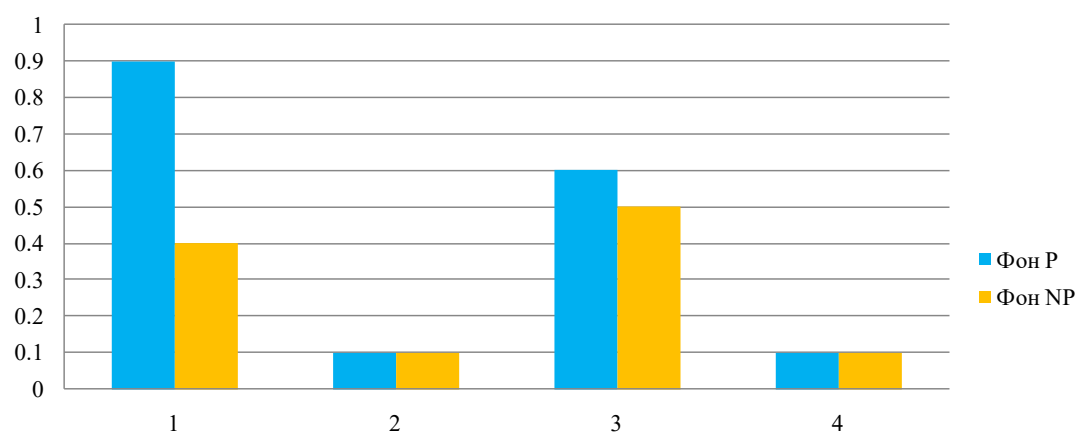
1. Зернопаровой четырёхпольный севооборот. 2. Зернопаротравяной десятипольный севооборот.
3. Зерновой двухпольный севооборот. 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 2. Коэффициенты корреляции общего органического углерода почвы с суммой положительных температур воздуха за 1998–2021 гг.



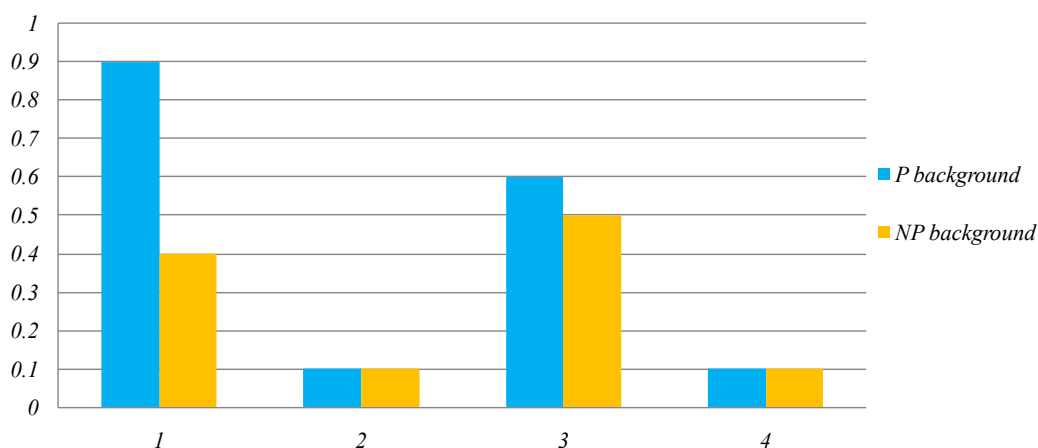
1. Grain-steam four-field crop rotation. 2. Grain-grass ten-field crop rotation.
3. Grain two-field crop rotation. 4. Spring wheat is constantly

Fig. 2. Correlation coefficients of the total organic carbon of the soil with the sum of positive air temperatures for 1998–2021



1. Зернопаровой четырёхпольный севооборот. 2. Зернопаротравяной десятипольный севооборот.
3. Зерновой двухпольный севооборот. 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 3. Коэффициенты корреляции общего органического углерода почвы с годовым количеством осадков за 1998–2021 гг.



1. Grain-steam four-field crop rotation. 2. Grain-grass ten-field crop rotation. 3. Grain two-field crop rotation. 4. Spring wheat is constantly

Fig. 3. Correlation coefficients of total soil organic carbon with annual precipitation for 1998–2021

Доля влияния годового количество осадков на содержание углерода общего отмечена в 1 варианте (фон удобренности Р) и составила 87 %, корреляция сильная. В зернопаротравяном севообороте и при бесменном возделывании яровой пшеницы независимо от фонов удобренности корреляционная зависимость слабая.

Количество и состав гумуса в почвах динамичны вследствие постоянного поступления в них органических остатков и непрерывности процессов их разложения и гумификации.

В результате корреляционного анализа установлена максимальная доля влияния 63 % от продуктивности севооборотов на содержание углерода гуминовых кислот при коэффициенте корреляции $r = 0,8$ (рис. 4). Средняя корреляция отмечена на вариантах 2 и 4 на фоне удобренности NP с долей влияния 21 % и 28 % соответственно.

Анализ корреляционных зависимостей содержания углерода фульвокислот от продуктивности севооборотов за годы исследований показал, что максимальная доля влияния 56 % была в 1 варианте севооборота слабая на варианте 3 на фоне удобренности Р.

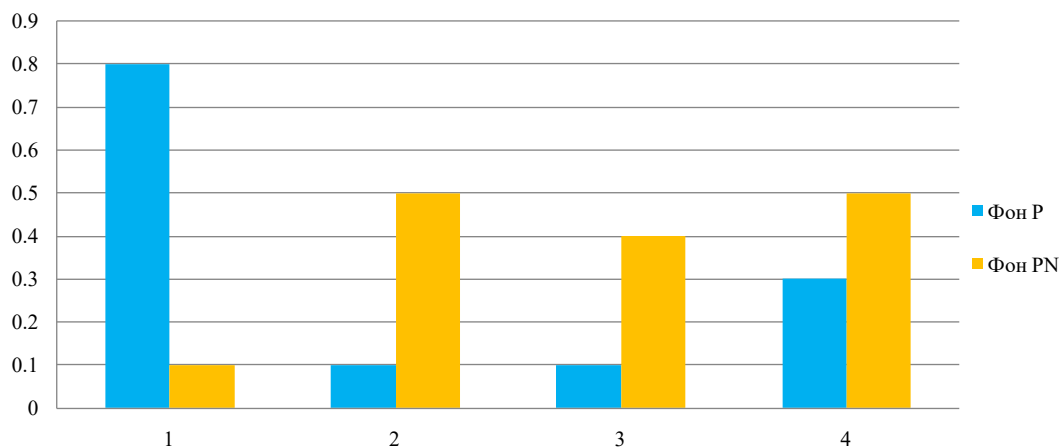
Установлено, что коэффициент вариации углерода гуминовых кислот с 1998 по 2021 гг. составил 5–9 %, изменения незначительны по всем вариантам севооборотов независимо от фона удобренности. Отмечена существенная изменчивость содержания углерода фульвокислот в 1998 г. и 2013 г. на фоне удобренности Р при коэффициенте вариации 21 и 22 %, на фоне удобренности NP в 2013 и 2021 гг. соответственно 24 и 35 %. Это обусловлено переходом на нулевую технологию обработки почвы в отличие от традиционной вспашки, что способствует постоянному пополнению органического вещества.

По результатам наших исследований качественных показателей гумуса было установлено, что слабокислые почвы чернозема выщелоченного при длительном внесении минеральных удобрений в умеренных дозах характеризовалась доминирующим содержанием углерода гуминовых кислот ($C_{гк}$) независимо от варианта севооборота (рис. 6).

При исследовании органического вещества почв в длительных опытах ограничиваться определением только общего углерода почвы нельзя. Качественные показатели гумуса необходимо рассматривать как надежные диагностические ориентиры направленности трансформации органического вещества и разработки приемов управления процессом гумусообразования в пахотных почвах.

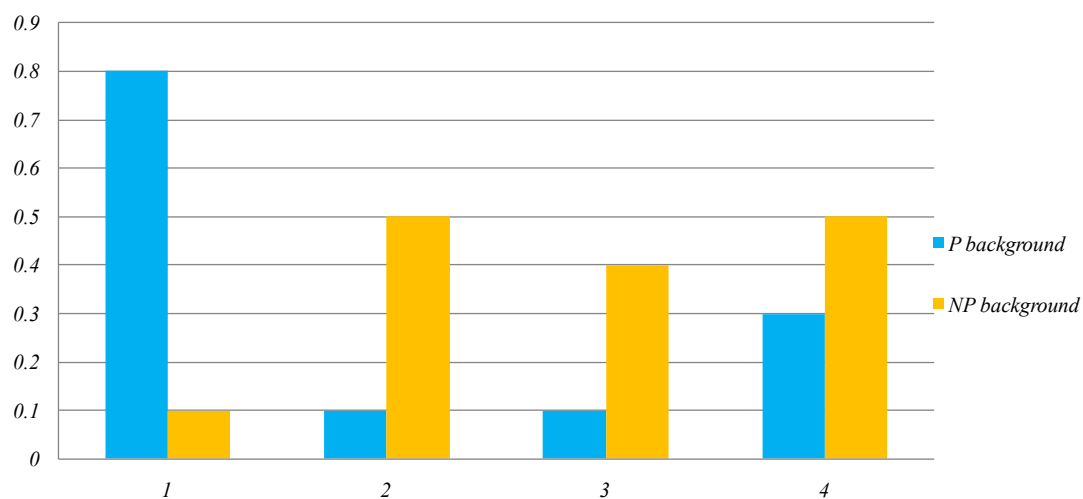
В результате исследований установлено, что среднее отношение содержания углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот на фоне Р в зерновом двухпольном севообороте по сравнению с зернопаровым четырехпольным севооборотом на 25 % шире. Следовательно, происходит усиление процессов гумусообразования в сторону образования неподвижных форм гумуса за счет большего поступления пожнивно-корневых остатков. При бесменном возделывании яровой пшеницы на фоне минерального питания NP отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот ($C_{гк}/C_{фк}$) в среднем за период исследований было на 20,5 % более широким по сравнению с зернопаровым четырехпольным севооборотом за счет снижения процесса гумификации.

Характер направленности процессов гумусообразования в зависимости от вариантов севооборотов в среднем за период исследований в пределах ошибки определения показателей представлен на рис. 7.



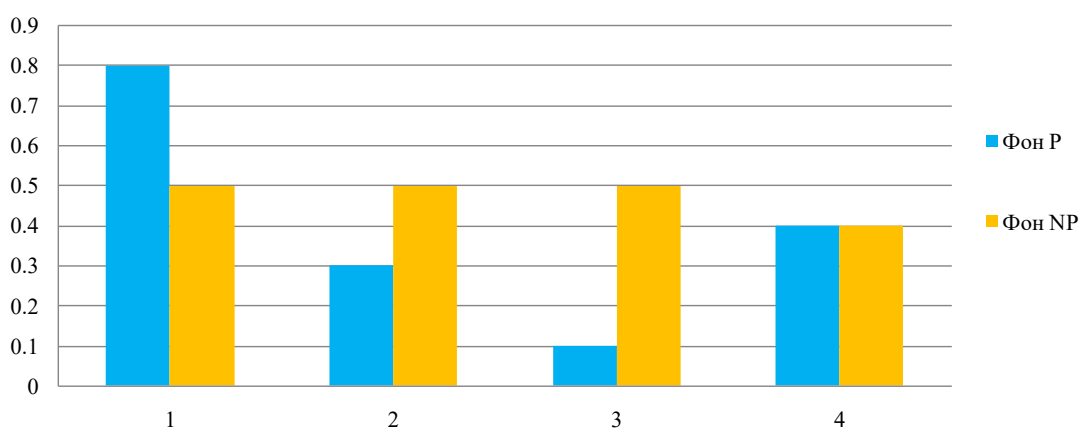
1. Зернопаровой четырёхпольный севооборот. 2. Зернопаротравяной десятипольный севооборот.
3. Зерновой двухпольный севооборот. 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 4. Коэффициенты корреляции углерода гуминовых кислот почвы с продуктивностью севооборотов за 1998–2021 гг.



1. Grain-steam four-field crop rotation. 2. Grain-grass ten-field crop rotation. 3. Grain two-field crop rotation.
4. Spring wheat is constantly

Fig. 4. Correlation coefficients of soil humic acid carbon with the productivity of crop rotations for 1998–2021



1. Зернопаровой четырёхпольный севооборот. 2. Зернопаротравяной десятипольный севооборот.
3. Зерновой двухпольный севооборот. 4. Яровая пшеница бессменно

Рис. 5. Коэффициенты корреляции углерода фульвокислот почвы с продуктивностью севооборотов за 1998–2021 гг.

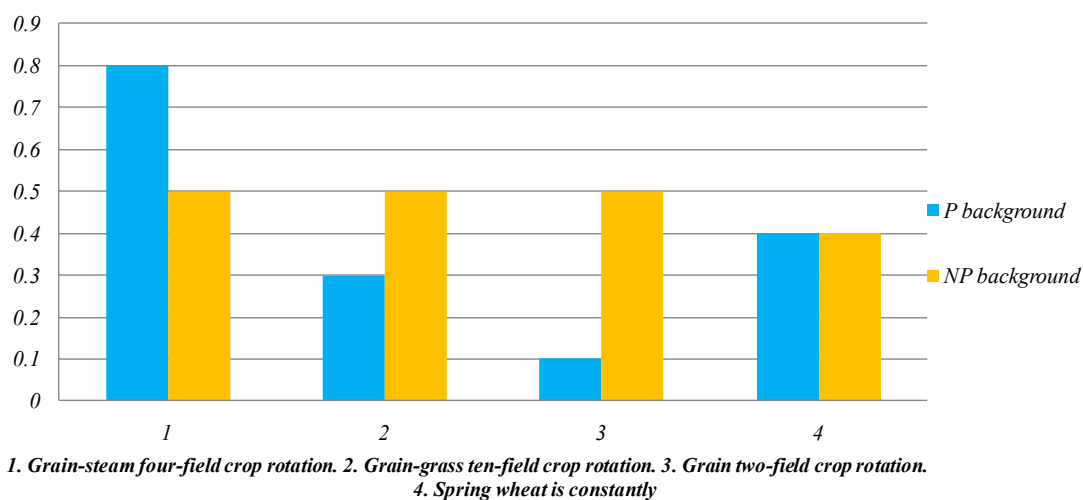


Fig. 5. Correlation coefficients of soil fulvic acid carbon with the productivity of crop rotations for 1998–2021

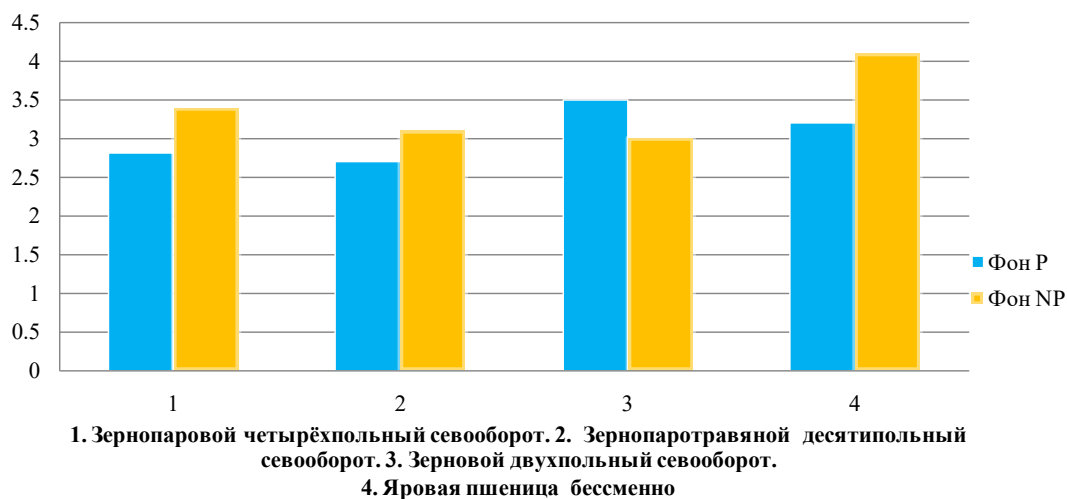


Рис. 6. Отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот в составе гумуса чернозема выщелоченного в слое почвы 0–20 см в среднем за 1998–2021 гг.

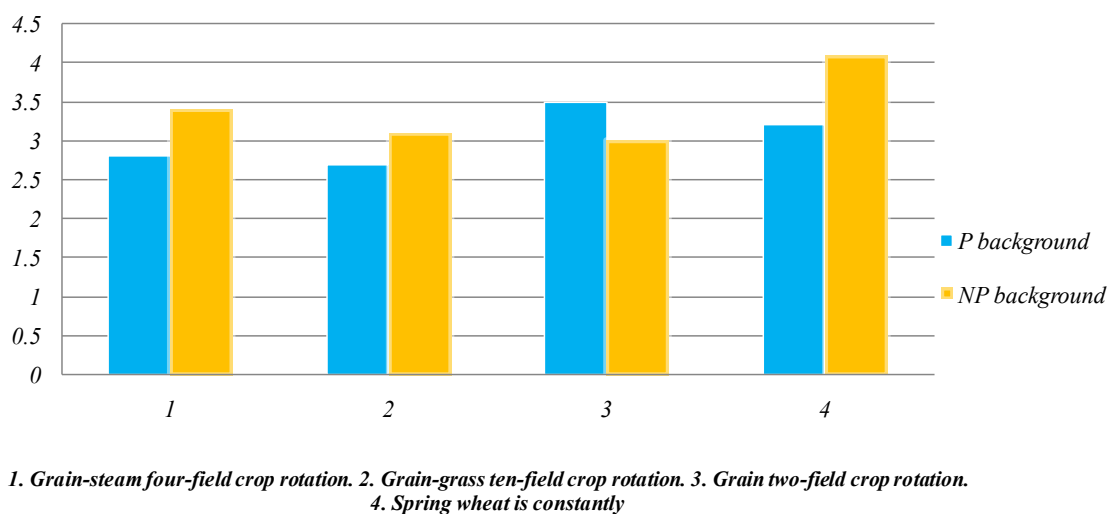


Fig. 6. The ratio of carbon of humic acids to carbon of fulvic acids in the composition of leached chernozem humus, in the soil layer 0–20 cm, in the average for 1998–2021

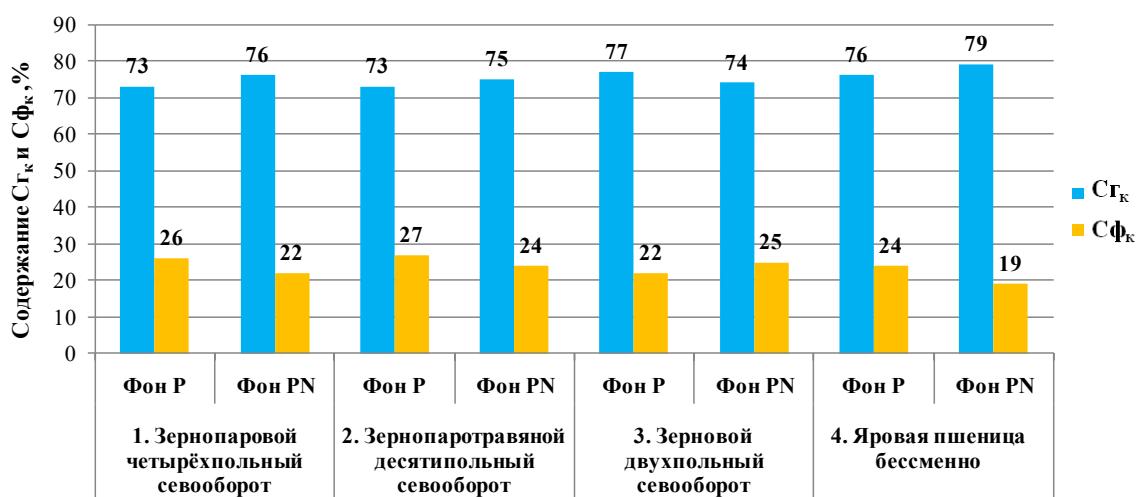


Рис. 7. Групповой состав гумуса в севооборотах на двух фонах минерального питания в среднем за 1998–2021 гг.

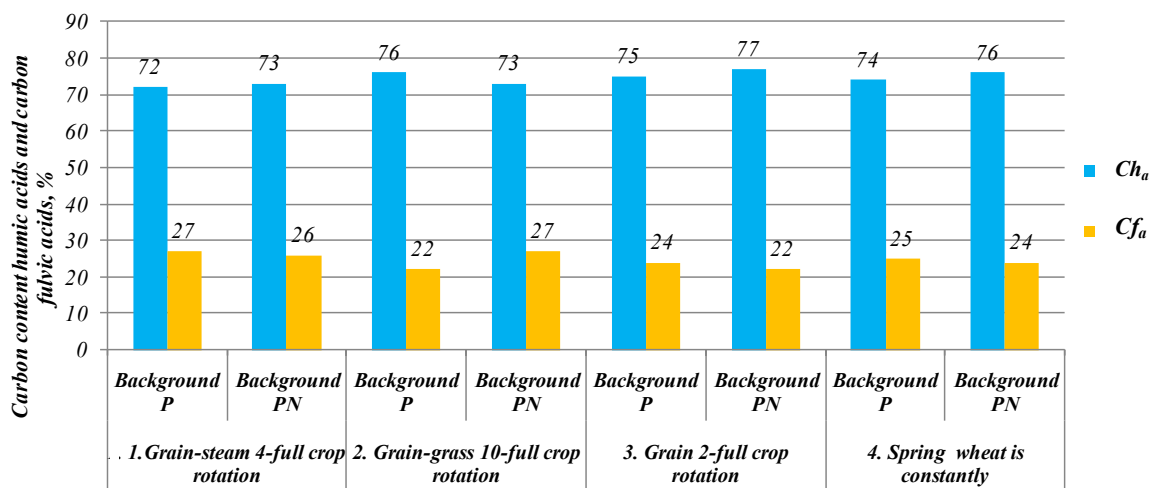


Fig. 7. The group composition of humus in crop rotations on two backgrounds of mineral nutrition on average for 1998–2021

Содержание углерода гуминовых кислот ($C_{Гк}$) увеличилось на фоне NP по сравнению с фоном удобрения P, в зернопаровом четырёхпольном севообороте на 3 % и зернопаротравяном десятипольном на 2 %, в зерновом двухпольном, наоборот, наблюдалось уменьшение на 3 %. Наибольшее содержание углерода гуминовых кислот отмечено на варианте с бессменным возделыванием яровой пшеницы.

Наименьшее содержание углерода фульвокислот ($C_{Фк}$) отмечено на фоне с минеральными удобрениями в зернопаровом четырёхпольном севообороте на 4 %, в зернопаротравяном десятипольном на 3 %. В зернопаровом двухпольном севообороте содержание углерода фульвокислот, наоборот, при внесении минеральных удобрений увеличилось на 3 %, при бессменной яровой пшенице уменьшилось на 5 %. Это обусловлено, прежде всего, условиями года и степенью активизации накопления органического вещества за счет пожнивно-корневых остатков возделываемых культур.

Сравнительная динамика изменения соотношения углерода гуминовых кислот $C_{Гк}$ к углероду фульвокислот $C_{Фк}$ по годам исследований представлена на рис. 8.

Характер изменений направленности качественного состава гумуса волнообразный. Степень гумификации органического вещества в пахотном слое почвы изменяется на фоне удобрения P от 1,8 до 4,9, на фоне NP – от 2,1 до 4,9, при нулевой технологии соотношение изменяется от 2,3 до 3,9 без удобрений и от 2,7 до 7,5 с внесением удобрений. Установлено взаимное влияние типа севооборота и фона минерального питания ($HCP_{05} = 1,7$). Максимальное расширение этого соотношения отмечено на удобренном фоне при бессменной культуре яровой пшеницы, а также на удобренном фоне зернового севооборота. Во 2 варианте севооборота динамика изменения степени гумификации более стабильная, размах варьирования составил 1,5, в 1 и 3 варианте 3,0 и наибольший при бессменной культуре – 5,1.

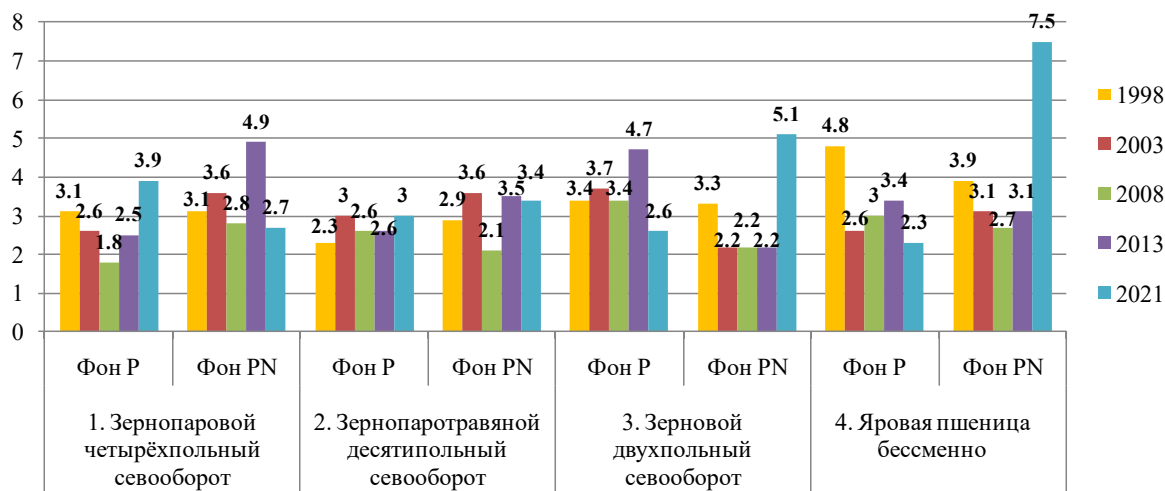


Рис. 8. Динамика направленности качественного состава гумуса $C_{Гк}/C_{Фк}$ на фоне питания P и NP в различных вариантах севооборотов

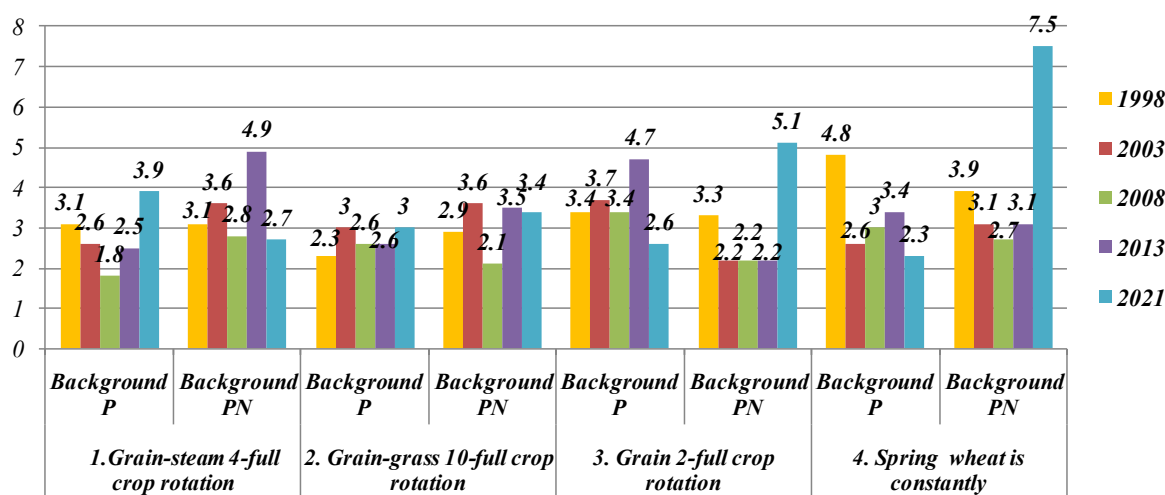


Fig. 8. The dynamics of the orientation of the qualitative composition of C_{Gk}/C_{Fk} humus against the background of P and NP nutrition in various crop rotations

Динамика изменений направленности группового состава гумуса в зернопаротравяном севообороте была более стабильной в связи с регулированием поступления органического вещества за счет биологического азота многолетних бобовых трав (трехлетнего пользования) и корневых пожнивных растительных остатков других зернобобовых культур независимо от метеоусловий и фона удобренности.

При бессменном возделывании яровой пшеницы отмечено наибольшее расширение соотношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот в засушливый год.

Обсуждение и выводы (Discussions and Conclusion)

Количество поступления пожнивно-корневых остатков обусловлено урожайностью возделываемых культур в севооборотах, которая в большей степени определяется влагообеспеченностью вегетационного периода.

В целом по всем вариантам севооборотов наблюдается определенное постоянство содержания гуминовой кислоты в гумусе, характерное для черноземов.

Скорость минерализации органического вещества чернозема выщелоченного зерновых агроценозов усиливается при увеличении количества растительных остатков.

Переход на нулевую технологию обработки приводит к значительной изменчивости содержания углерода фульвокислот в 1998 и 2013 гг. на фоне удобренности P при коэффициенте вариации 21–22 %, на фоне удобренности NP в 2013 и 2021 гг. – соответственно 24 и 35 %.

Соотношение $C_{Гк}/C_{Фк}$ в органическом веществе служит диагностическим показателем состояния гумуса и оценки качественного состояния направленности его трансформации, позволяющим прогнозировать динамику изменений от степени агрогенного воздействия на почву.

Библиографический список

1. Дубровина И. А. Изменение содержания общего углерода, азота и фосфора в почвах таежной зоны Республики Карелия при сельскохозяйственном использовании // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 41. С. 27–41. DOI: 10.17223/19988591/41/2.
2. Скороходов В. Ю. Накопление и использование нитратного азота различными видами пара в период их парования на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 204–212.
3. Замятин С. А., Максимова Р. Б. Почвоулучшающая роль пожнивно-корневых остатков в полевых севооборотах // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020. Т. 6. № 3 (23). С. 287–294. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-3-287-294.
4. Замятин С. А., Ефимова А. Ю., Максуткин С. А. Влияние полевых севооборотов на накопление пожнивно-корневых остатков в пахотном слое дерново-подзолистой почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (6). С. 594–601. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601.
5. Скороходов В. Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на черноземах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 176–185.
6. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (5). С. 467–477. DOI:10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477.
7. Лукин С. И., Золкина Е. И., Марчук Е. В. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность севооборота, содержание и качественный состав органического вещества почвы // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 93–98. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.18.
8. Турусов В. И., Дронова Н. В., Балюнова Е. А. Гумусное состояние и ферментативная активность почвы в посевах озимой пшеницы (*triticum aestivum* L.) в зависимости от изучаемых севооборотов // Проблемы агрохимии и экологии. 2021. № 1. С. 3–6. DOI: 10.26178/3209.2021.91.19.001.
9. Рекомендации по агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур Челябинской области / Под ред. Ю. П. Прядун; сост. А. А. Агеев, А. А. Анисимов, Ю. Б. Анисимов, Н. П. Бондаренко, И. А. Захарова, В. Я. Крамаренко, И. Ю. Кушниренко, Л. П. Шаталина, Е. Р. Шрейдер, Х. С. Юмашев. Челябинск: ФГБНУ Челябинский НИИСХ, 2021. 56 с.
10. Кирюшин В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. 2018. № 3. С. 3–8.
11. Мамонтов В. Г. Изменение компонентного состава гумуса чернозема обыкновенного под влиянием агрогенеза // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. Т. 63. № 4 (376). С. 83–86.
12. Чеботарев Н. Т., Конкин П. И., Зайнуллин В. Г., Юдин А. А., Микушева Е. Н. Изменение фракционно-группового состава и баланса гумуса под влиянием удобрений на дерново-подзолистой почве Евро-Северо-Востока // Плодородие. 2019. № 6 (111). С. 25–28. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.07.
13. Захарова И. А., Юмашев Х. С. Изменение гумусного состояния черноземных почв Челябинской области в результате сельскохозяйственного использования // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11.
14. Громовик А. И., Горбунова Н. С., Черепухина И. В. Трансформация гумусового состояния черноземов в агроэкосистемах лесостепи ЦЧЗ // Сборник научных трудов Государственного Никитинского ботанического сада. 2019. Т. 148. С. 42–49.
15. Poeplau C., Vos C., Don A. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content // SOIL. 2017. No. 3. Pp. 61–66. DOI: 10.5194/soil-3-61-2017.
16. Akujärvi A., Heikkinen J., Palosuo T., Liski J. Carbon budget of Finnish croplands – Effects of land use change from natural forest to cropland [e-resource] // Geoderma Regional. 2014. No. 2-3. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.geodrs.2014.09.003. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235200941400011X?via%3Dihub> (date of reference: 20.05.2022).
17. Sperow M. Estimating carbon sequestration potential on U.S. agricultural topsoils // Soil & Tillage Research. 2016. No. 155. Pp. 390–400. DOI: 10.1016/j.still.2015.09.006.
18. Duran J., Morse J. L., Rodríguez A., Campbell J. L., Christenson L. M., Driscoll C. T., Fahey T. J., Fisk M. C., Mitchell M. J., Templer P. H., Groffman P. M. Differential sensitivity to climate change of C and N cycling processes across soil horizons in a northern hardwood forest // Soil Biology & Biochemistry. 2017. No. 107. Pp. 77–84. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.12.028.
19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps [e-resource] // World Soil Resources Reports. FAO, Rome, 2014. No. 106. URL: <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf> (date of reference: 20.05.2022).

Об авторах:

Любовь Петровна Шаталина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148; lubashatalina@mail.ru

Юрий Борисович Анисимов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0003-4385-3655, AuthorID 900182; +7 (35168) 7-14-88, chniisx2@mail.ru

Елена Леонидовна Калюжина¹, научный сотрудник, ORCID 0000-0003-4494-4815, AuthorID 969055; +7 (35168) 7-14-88, chniisx2@mail.ru

¹ Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Тимирязевский, Россия

The qualitative composition of the humus of chernozem leached in crop rotations of the northern forest-steppe of the Southern Urals

L. P. Shatalina[✉], Yu. B. Anisimov¹, E. L. Kalyuzhina¹

¹ Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia

[✉] Email: lubashatalina@mail.ru

Abstract. The purpose of the research was to establish the degree of agrogenic impact on the qualitative composition of humus by monitoring the content of total carbon, humic and fulvic acid carbon in the arable soil layer of leached chernozem. A comparative assessment of the dynamics of the group composition of leached chernozem humus in the conditions of the northern forest-steppe of the Chelyabinsk region, in various crop rotations on two fertilization backgrounds P and NP was carried out. **Methods.** The research was carried out in a long-term field experiment from 1998 to 2021. The group composition of humus was determined in soil samples taken from each variant of the experiment every five years by the accelerated pyrophosphate method according to the scheme of I. V. Tyurin modified by V. V. Ponamareva and T. A. Plotnikova. **Results.** According to the results of our studies of the qualitative indicators of humus, it was found that slightly acidic soils of leached chernozem with prolonged application of mineral fertilizers in moderate doses were characterized by a dominant carbon content of humic acids (Ch_a), regardless of crop rotation options. It was found that the average ratio of the carbon content of humic acids to the carbon of fulvic acids against the background of P in the grain two-field crop rotation compared with the grain-pair four-field crop rotation is 25 % wider. With the permanent cultivation of spring wheat against the background of mineral nutrition NP, the ratio of carbon of humic acids to carbon of fulvic acids (Ch_a/Cf_a) was on average 20.5 % wider during the research period, compared with the grain-steam four-field crop rotation, due to a decrease in the humification process. Strong correlations have been established between the total carbon content from the precipitation of the growing season against the background of P in the grain-pair four-field crop rotation and grain two-field. **The scientific novelty** lies in the study of the dynamics of changes in the orientation of the group composition of humus in different crop rotations, at different levels of fertilization and agrotechnologies of cultivation.

Keywords: leached chernozem, humus, fulvic acid carbon, humic acid carbon, mineral fertilizers, crop rotation.

For citation: Shatalina L. P., Anisimov Yu. B., Kalyuzhina E. L. Kachestvennyy sostav gumusa chernozema vyshchelochennogo v sevooborotakh severnoy lesostepi Yuzhnogo Urals [The qualitative composition of the humus of chernozem leached in crop rotations of the northern forest-steppe of the Southern Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 09 (224). Pp. 33–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-33-46. (In Russian.)

Date of paper submission: 10.06.2022, **date of review:** 27.06.2022, **date of acceptance:** 07.07.2022.

References

1. Dubrovina I. A. Izmeneniye soderzhaniya obshchego ugleroda, azota i fosfora v pochvakh tayezhnoy zony Respubliki Kareliya pri sel'skokhozyaystvennom ispol'zovanii [Changes in the content of total carbon, nitrogen and phosphorus in the soils of the taiga zone of the Republic of Karelia during agricultural use] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2018. No. 41. Pp. 27–41. DOI: 10.17223/19988591/41/2. (In Russian.)
2. Skorokhodov V. Yu. Nakopleniye i ispol'zovaniye nitratnogo azota razlichnymi vidami para v period ikh parovaniya na chernozemakh yuzhnykh Orenburgskogo Predural'ya [Accumulation and use of nitrate nitrogen

by various types of steam during their vaporization on the chernozems of the southern Orenburg Urals] // *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018. Vol. 101. No. 1. Pp. 204–212. (In Russian)

3. Zamyatin S. A., Maksimova R. B. Pochvouluchshayushchaya rol' pozhnivno-kornevykh ostatkov v polevykh sevooborotakh [The soil-improving role of crop-root residues in field crop rotations] // *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2020. Vol. 6. No. 3 (23). Pp. 287–294. DOI: 10.30914/2411-9687-2020-6-3-287-294. (In Russian.)

4. Zamyatin S. A., Efimova A. Yu., Maksutkin S. A. Vliyaniye polevykh sevooborotov na nakopleniye pozhnivno-kornevykh ostatkov v pakhotnom sloye dernovo-podzolistoy pochvy [The influence of field crop rotations on the accumulation of crop-root residues in the arable layer of sod-podzolic soil] // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019. No. 20 (6). Pp. 594–601. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.6.594-601. (In Russian.)

5. Skorokhodov V. Yu. Vliyaniye pogodnykh faktorov vegetatsii i fona pitaniya na nakopleniye nitratnogo azota v pochve pod sel'skokhozyaystvennymi kul'turami na chernozemakh Orenburgskogo Predural'ya [The influence of weather factors of vegetation and nutrition background on the accumulation of nitrate nitrogen in the soil under agricultural crops in the chernozems of the Orenburg Urals] // *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018. Vol. 101. No. 2. Pp. 176–185. (In Russian.)

6. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Sovershenstvovaniye sevooborotov dlya sokhraneniya plodorodiya pochvy i uvelicheniya ikh produktivnosti v usloviyakh biologicheskoy intensivatsii [Improvement of crop rotations to preserve soil fertility and increase their productivity in conditions of biological intensification] // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019. No. 20 (5). Pp. 467–477. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477. (In Russian.)

7. Lukin S. I., Zolkina E. I., Marchuk E. V. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya udobreniy na produktivnost' sevooborota, sodержaniye i kachestvennyy sostav organicheskogo veshchestva pochvy [The effect of long-term use of fertilizers on crop rotation productivity, content and qualitative composition of soil organic matter] // *Plodorodie*. 2021. No. 3 (120). Pp. 93–98. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.18. (In Russian.)

8. Turusov V. I., Dronova N. V., Balyunova E. A. Gumusnoye sostoyaniye i fermentativnaya aktivnost' pochvy v posevakh ozimoy pshenitsy (*triticum aestivum* L.) v zavisimosti ot izuchayemykh sevooborotov [Humus state and enzymatic activity of the soil in winter wheat crops (*triticum aestivum* L.) depending on the studied crop rotations] // *Problemy agrohimii i ekologii*. 2021. No. 1. Pp. 3–6. DOI: 10.26178/3209.2021.91.19.001. (In Russian.)

9. Rekomendatsii po agrotekhnologiyam vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur Chelyabinskoy oblasti [Recommendations on agrotechnologies of cultivation of agricultural crops of the Chelyabinsk region] / Under the editorship of Yu. P. Pryadun ; compilers A. A. Ageev, A. A. Anisimov, Yu. B. Anisimov, N. P. Bondarenko, I. A. Zakharova, V. Ya. Kramarenko, I. Yu. Kushnirenko, L. P. Shatalina, E. R. Shreyder, Kh. S. Yumashev. Chelyabinsk: FGBNU Chelyabinskiy NIISKh, 2021. 56 p. (In Russian.)

10. Kiryushin V. I. Zadachi nauchno-innovatsionnogo obespecheniya zemledeliya Rossii [Tasks of scientific and innovative support of agriculture in Russia] // *Zemledelie*. 2018. No. 3. Pp. 3–8. (In Russian.)

11. Mamontov V. G. Izmeneniye komponentnogo sostava gumusa chernozema obyknovennogo pod vliyaniem agrogenyza [Change in the component composition of humus of ordinary chernozem under the influence of agrogenesis] // *International Agricultural Journal*. 2020. Vol. 63. No. 4 (376). Pp. 83–86. (In Russian.)

12. Chebotarev N. T., Konkin P. I., Zaynullin V. G., Yudin A. A., Mikusheva E. N. Izmeneniye fraktsionno-gruppovogo sostava i balansa gumusa pod vliyaniem udobreniy na dernovo-podzolistoy pochve Evro-Severo-Vostoka [Changes in the fractional-group composition and balance of humus under the influence of fertilizers on the sod-podzolic soil of the Euro-North-East] // *Plodorodie*. 2019. No. 6 (111). Pp. 25–28. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.07. (In Russian.)

13. Zakharova I. A., Yumashev Kh. S. Izmeneniye gumusnogo sostoyaniya chernozemnykh pochv Chelyabinskoy oblasti v rezul'tate sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Changes in the humus state of chernozem soils of the Chelyabinsk region as a result of agricultural use] // *Vestnik KrasGAU*. 2022. No. 2 (179). Pp. 3–11. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-2-3-11. (In Russian.)

14. Gromovik A. I., Gorbunova N. S., Cherepukhina I. V. Transformatsiya gumusovogo sostoyaniya chernozemov v agroekosistemakh lesostepi TsChZ [Transformation of the humus state of chernozems in agroecosystems of the forest-steppe of the Central Forest Zone] // *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitinskogo botanicheskogo sada*. 2019. Vol. 148. Pp. 42–49. (In Russian.)

15. Poeplau C., Vos C., Don A. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content // *SOIL*. 2017. No. 3. Pp. 61–66. DOI: 10.5194/soil-3-61-2017.

16. Akujärvi A., Heikkinen J., Palosuo T., Liski J. Carbon budget of Finnish croplands – Effects of land use change from natural forest to cropland [e-resource] // *Geoderma Regional*. 2014. No. 2-3. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.geoder.2014.09.003. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235200941400011X?via%3Dihub> (date of reference: 20.05.2022).

17. Sperow M. Estimating carbon sequestration potential on U.S. agricultural topsoils // *Soil & Tillage Research*. 2016. No. 155. Pp. 390–400. DOI: 10.1016/j.still.2015.09.006.
18. Duran J., Morse J. L., Rodríguez A., Campbell J. L., Christenson L. M., Driscoll C. T., Fahey T. J., Fisk M. C., Mitchell M. J., Templer P. H., Groffman P. M. Differential sensitivity to climate change of C and N cycling processes across soil horizons in a northern hardwood forest // *Soil Biology & Biochemistry*. 2017. No. 107. Pp. 77–84. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.12.028.
19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps [e-resource] // *World Soil Resources Reports*. FAO, Rome, 2014. No. 106. URL: <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf> (date of reference: 20.05.2022).

Authors' information:

Lyubov P. Shatalina¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148; lubashatalina@mail.ru

Yuriy B. Anisimov¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0003-4385-3655, AuthorID 900182; +7 (35168) 7-14-88, chniisx2@mail.ru

Elena L. Kalyuzhina¹, researcher at the laboratory of agrolandscape agriculture, ORCID 0000-0003-4494-4815, AuthorID 969055; +7 (35168) 7-14-88, chniisx2@mail.ru

¹Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy, Russia