

УДК 631.417.2:631.445.41:631.82(470.4)

## ДИНАМИКА ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2024 г. Д. Ю. Журавлев<sup>1,\*</sup>, Т. М. Ярошенко<sup>1</sup>,  
Н. Ф. Климова<sup>1</sup>, Л. Б. Сайфуллина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока  
410010 Саратов, ул. Тулайкова, 7, Россия

\*E-mail: dmitry\_zhuravlev80@mail.ru

Представлены результаты наблюдения за динамикой гумуса и общего азота чернозема южного в условиях длительного стационарного опыта с применением минеральных удобрений. В первые 3 ротации зернопаропропашного севооборота отмечена интенсивная минерализация гумуса во всех вариантах опыта. В условиях зернопарового севооборота этот процесс замедлился, а в варианте с применением минимальных доз азотно-фосфорных удобрений в 6-й ротации выявлено накопление гумусовых веществ. Максимальное снижение содержания гумуса по окончании 8-ми ротаций севооборота (более 48 лет) наблюдали в вариантах с внесением средних и высоких доз азотно-фосфорных удобрений. Применение минимальной дозы удобрений лучшим образом компенсировало потери гумуса чернозема южного при длительном сельскохозяйственном использовании. По сравнению с исходными данными в опыте отмечены негативные изменения качественного состава гумуса, выраженные в снижении доли гуминовых кислот. По окончании 8-й ротации содержание общего азота в почве во всех вариантах опыта уменьшилось.

**Ключевые слова:** гумус, общий азот, минеральные удобрения, длительный стационарный опыт, чернозем южный, степное Поволжье.

DOI: 10.31857/S0002188124040026, EDN: dmjbmh

### ВВЕДЕНИЕ

Длительное использование сельскохозяйственных угодий, как правило, сопряжено с существенной антропогенной нагрузкой на пашню, способствующей значительным изменениям параметров почвенного плодородия. Одним из таких наиболее важных параметров является количественный и качественный состав гумуса почвы. Ухудшение гумусного состояния приводит к негативным изменениям не только агрохимических, но и физико-химических свойств почв [1]. Систематическое применение минеральных и органических удобрений может оказывать существенное и различное по характеру влияние на гумусное состояние почв [28]. Изучение параметров почвенного плодородия сельскохозяйственных угодий в условиях длительных стационарных опытов позволяет наблюдать за интенсивностью и направленностью изменений гумуса почв в динамике, строить прогнозы. Например, на основании анализа многолетних экспериментальных данных 19-ти стационарных полевых опытов Географической сети установлено, что системы удобрения дерново-подзолистых и каштановых почв не обеспечивают воспроизводство гумуса и требуют совершенствования, где основной упор будет

сделан на биологизацию земледелия [36]. Наблюдения за динамикой гумусного состояния черноземов Среднего Поволжья за период 1973–1993 гг. в условиях зернопаропропашного севооборота показали, что применение навоза в дозах 5–10 т/га и полного минерального удобрения не восполняло потери гумуса, но снижало их относительно контроля [4]. В условиях Ставропольского края на черноземе обыкновенном в длительном стационарном опыте применение минеральных удобрений в течение 41 года способствовало уменьшению минерализации гумуса в сравнении с контролем на 0.2–0.6% [5–10].

Цель работы — определить в динамике характер влияния длительного применения минеральных удобрений на гумусное состояние чернозема южного в условиях степного Поволжья.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения за гумусным состоянием чернозема южного проводили в условиях длительного полевого стационарного опыта, занесенного в “Реестр аттестатов Геосети длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской

Федерации” под № 15 и имеющего следующее название: “Разработка зональных систем удобрения в интенсивных технологиях возделывания зерновых культур”. Закладка полевого опыта была проведена доктором сельскохозяйственных наук, профессором М.П. Чуб и ее сотрудниками в 1969–1971 гг. на плакорно-равнинном агроландшафте в экспериментальном хозяйстве ФАНЦ Юго-Востока (г. Саратов).

Характеристика опытного участка следующая: почва – чернозем южный среднегумусный среднемошный тяжелосуглинистый среднесмытый. Содержание гумуса по данным агрохимического обследования, проведенного перед закладкой опыта (1969–1971 гг.), в слое 0–40 см почвы в среднем составляло 4.35, общего азота – 0.24, валового фосфора – 0.12, валового калия – 1.60%. Обеспеченность легкогидролизующим азотом по Тюрину–Кононовой составляла 67, подвижным фосфором по Мачигину – 10–12, обменным калием – 345 мг/кг.

Климатические условия района проведения опыта являются типичными для засушливой черноземной степи Поволжья. Коэффициент континентальности – 180–200 (средне- и сильноконтинентальный). Средний гидротермический коэффициент (ГТК) вегетационного периода по Селянинову – 0.81 [6, 9]. По многолетним данным (1912–1980 гг.), представленным агрометеорологической службой ФАНЦ Юго-Востока, температура воздуха составила: минимальная зарегистрированная – 37.0, среднегодовая – 5.3, максимальная зарегистрированная – 41.0°C. Годовое количество осадков в среднем по годам составило: минимальное – 245, среднее – 451, максимальное – 648 мм; минимальное их количество за вегетационный период – 46.2, среднее и максимальное – 135.8 и 221.5 мм соответственно.

Исследование в стационарном опыте проводят на 3-х полях площадью 1.5 га каждое, что обеспечивает повторяемость в пространстве и во времени для наиболее полного учета погодно-климатических особенностей засушливой степи Поволжья (в период 1969–1971 гг. каждое из 3-х полей по очереди входило в севооборот первым полем). Расположение вариантов в опыте – рендомизированное, размер делянок – 235–300 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная. Полученные

в опыте экспериментальные данные подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа [73]. Содержание гумуса в почве определяли по методу И.В. Тюрина, анализ его группового состава проводили по Кононовой–Бельчиковой, общий азот – по Кьельдалю [85].

После закладки длительного стационарного опыта в 1969 г. первые 24 года исследования вели в условиях 6-польного зернопаропропашного севооборота (4 ротации) со следующим чередованием культур: пар чистый–озимая пшеница–яровая мягкая пшеница–кукуруза на зеленую массу–ячмень–овес. В 5-й ротации севооборот из зернопаропропашного был преобразован в зернопаровой (кукуруза была заменена на просо) и приобрел следующий вид: пар чистый–озимая пшеница–яровая мягкая пшеница–просо–ячмень–овес. В настоящее время полностью окончена 8-я ротация севооборота. В работе представлены результаты 4-х наиболее контрастных вариантов опыта, существенно отличавшихся величиной доз примененных минеральных удобрений. Их можно разделить на варианты: 1 – контроль, без удобрений, 6 – минимальные дозы азотно-фосфорных удобрений, 8 – средние дозы азотно-фосфорных удобрений и 11а – высокие дозы азотно-фосфорных удобрений.

При применении минимальной дозы азотно-фосфорных удобрений (вариант 6) вносили P40 и N30–40 1–2 раза за ротацию 6-польного севооборота. Средняя доза азотно-фосфорных удобрений (вариант 8) предусматривала применение N30–60 практически под все культуры севооборота. Вариант 11а отличался ежегодным применением более высоких доз азотных удобрений (табл. 1).

В посевах всех культур севооборота, кроме озимой пшеницы, все виды удобрений вносили с осени под основную обработку. В посевах озимой пшеницы азотные удобрения применяли в виде позднеосенней подкормки, а фосфорные, как и для остальных культур, – под вспашку. Калийные удобрения использовали в опыте только на начальном его этапе. Обеспеченность почвы доступными формами калия для зерновых культур была достаточной, вследствие чего достоверных прибавок урожая зерна от дополнительного его внесения с удобрениями получено не было. Тем не менее, сохраняется учет

**Таблица 1.** Дозы применения удобрений в 8-й ротации зернопарового севооборота в условиях длительного стационарного опыта

Вариант, №	Дозы элементов питания	
	суммарные за 8 ротаций	средние в год
1	–	Контроль (без удобрений)
6	N710P600K360	N14.8P12.5K7.5
8	N1520P780K350	N31.6P16.2K7.3
11а	N2570P800K350	N53.5P16.6K7.3

ранее внесенного калия в системе удобрения севооборота. Часть полученных по данному направлению результатов исследования опубликованы в научной литературе ранее [6, 9,97].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдения за гумусным состоянием чернозема южного в длительном стационарном опыте в динамике указывали на развитие трансформационных процессов, в первую очередь затрагивающих его количественную составляющую, как в вариантах опыта, так и в ротациях 6-польного севооборота. В контрольном варианте наиболее существенное снижение содержания гумуса в слое 0–40 см относительно исходного показателя (4.35%) наблюдали после первых 3-х ротаций севооборота (на 0.37%). Аналогичные изменения отмечены и в варианте 6, где применяли минимальные дозы азотно-фосфорных удобрений (табл. 2).

В дальнейшем в вариантах 1 и 6 наблюдали некоторую стабилизацию гумусного состояния до конца 7-й ротации севооборота (рост в контроле относительно показателей в 4-й ротации – 0.07%, в варианте 6 – уменьшение на 0.05%), что свидетельствовало об установлении определенного баланса между процессами минерализации и накопления гумусовых веществ. Это явление, видимо, было вызвано сменой зернопаропропашного севооборота на зернопаровой. В конце 6-й ротации отмечено повышение содержания гумуса в варианте 6 относительно предыдущей ротации на 0.24%. По итогам 8-й ротации произошло дальнейшее снижение содержания гумуса в данных вариантах. Однако в варианте 6 с применением минимальных доз удобрений снижение гумусированности почвы было наименьшим в опыте. В вариантах 8 и 11а, где применяли средние и высокие дозы азотно-фосфорных удобрений, наиболее значительное снижение содержания гумуса относительно исходного также наблюдали в первые 3 ротации севооборота.

При этом в варианте 8 снижение гумусированности почвы в ротациях севооборота хотя и было постепенным, но вместе с тем по окончании 8-й ротации достигло максимума в опыте. В варианте 11а отмечена кратковременная положительная динамика содержания гумуса в 4-й ротации, которая также сменилась на отрицательную в последующих ротациях севооборота. В целом в эксперименте выявлены некоторые компенсирующие свойства минимальных доз азотно-фосфорных удобрений на содержание гумуса относительно контрольного варианта. При этом повышение доз минеральных удобрений до средних и высоких способствовало усилению процессов минерализации органического вещества почвы.

Изучение качественного состава гумуса чернозема южного показало существенные его изменения по итогам 8-ми ротаций 6-польного севооборота с применением минеральных удобрений относительно исходного показателя на момент закладки опыта. Анализ полученных результатов указывал на уменьшение количества гуминовых кислот во всех вариантах опыта в 8-й ротации по сравнению с исходными данными (табл. 3).

При этом наименьшее их содержание отмечено в контроле и в варианте 11а, где применяли высокие дозы удобрений. В этих же вариантах наблюдали рост доли фульвокислот в групповом составе и, соответственно, более узкое соотношение ГК : ФК. Это обстоятельство свидетельствовало о развитии негативных почвенных процессов, связанных с ростом подвижности гумуса в данных вариантах опыта. Немного лучшее состояние гумуса отмечено в вариантах 6 и 8, где уменьшение доли гуминовых кислот было менее выражено, а соотношение ГК : ФК было более широким. В данных вариантах опыта этому также способствовало снижение доли фульвокислот в групповом составе, что в лучшем случае влияло на качественный состав гумуса.

**Таблица 2.** Динамика содержания гумуса в слое 0–40 см почвы за 8 ротаций 6-польного севооборота, %

Вариант, №	Исходное (1969–1971 гг.)	Ротации							
		1-я (1974–1976 гг.)	2-я (1980–1982 гг.)	3-я (1986–1988 гг.)	4-я (1992–1994 гг.)	5-я (1998–2000 гг.)	6-я (2004–2006 гг.)	7-я (2010–2012 гг.)	8-я (2016–2018 гг.)
1	4.35	4.31	4.22	3.98	3.93	3.98	3.95	4.00	3.80
6		4.32	4.26	3.98	4.03	3.93	4.17	3.98	3.91
8		4.26	4.20	4.12	4.10	3.93	3.98	4.01	3.60
11а		4.34	4.19	3.86	4.07	3.88	3.84	3.86	3.69

$HCP_{05} = 0.22\%$

**Таблица 3.** Изменение качественного состава гумуса в черноземе южном (слой 0–40 см) при длительном применении минеральных удобрений

Вариант, №	% от общего гумуса		ГК: ФК
	ГК	ФК	
Исходное содержание (1969–1971 гг.)	32.2	11.2	2.8
8-я ротация (2016–2018 гг.)			
1	25.9	13.3	1.9
6	27.5	8.6	3.1
8	29.7	9.0	3.2
11а	26.0	11.2	2.3
<i>HCP</i> <sub>05</sub> , %	2.0	–	–

Высокая обеспеченность растений доступным азотом удобрений в варианте 11а, стимулирующая их ростовые процессы, также способствовала повышению микробиологической активности почвы, связанной с минерализационными и гидролитическими процессами, затрагивающими органический азот гумусовых веществ. В определенной степени это и определяло сложившиеся негативные изменения группового состава гумуса в данном варианте опыта.

Отличительной особенностью в опыте также было и то, что наиболее существенное снижение

содержания гумуса относительно исходного на момент закладки опыта отмечено в условиях зернопаро-пропашного севооборота. Причиной этому, видимо, было повышение микробиологической активности, связанной с минерализацией органического вещества почвы при наличии в севообороте пропашного звена. В период 5–8-й ротаций в зернопаровом севообороте гумусное состояние чернозема южного стало более выровненным.

Известно, что гумусное состояние почв тесно связано с запасами общего азота, поскольку большая

**Таблица 4.** Динамика содержания общего азота в условиях длительного стационарного опыта с минеральными удобрениями

Вариант	<i>N</i> <sub>общ</sub> , %
1969–1971 гг. (исходное содержание)	0.24
5-я ротация (1998–2000 гг.)	
1. Контроль	0.22
6. N14.8P12.5K7.5	0.22
8. N31.7P16.3K7.3	0.23
11а. N53.5P16.7K7.3	0.21
6-я ротация (2004–2006 гг.)	
1. Контроль	0.21
6. N14.8P12.5K7.5	0.22
8. N31.7P16.3K7.3	0.21
11а. N53.5P16.7K7.3	0.21
7-я ротация (2010–2012 гг.)	
1. Контроль	0.21
6. N14.8P12.5K7.5	0.21
8. N31.7P16.3K7.3	0.21
11а. N53.5P16.7K7.3	0.21
8-я ротация (2016–2018 гг.)	
1. Контроль	0.20
6. N14.8P12.5K7.5	0.23
8. N31.7P16.3K7.3	0.20
11а. N53.5P16.7K7.3	0.21
<i>HCP</i> <sub>05</sub> , %	0.01

часть столь важного для растений макроэлемента питания представлена органическими соединениями гумусовой природы [102]. Эта закономерность подтверждена наблюдениями за динамикой содержания общего азота чернозема южного в условиях стационарного опыта в течение 8-ми ротаций 6-польного севооборота, где отмечали ее схожий характер в сравнении с динамикой гумуса (табл. 4).

По итогам проведенных исследований было установлено, что в конце 5-й ротации севооборота содержание общего азота по сравнению с исходными данными в опыте снизилось, достигнув минимума в варианте 1а, где вносили высокие дозы азотно-фосфорных удобрений. Накопление в 6-й ротации гумусовых веществ в варианте 6 отразилось на содержании общего азота, которое было самым высоким относительно остальных вариантов опыта. В определенной степени это подтверждено высоким уровнем корреляционной связи между содержанием гумуса и общего азота в вариантах опыта в 6-й ротации севооборота ( $r = 0.88$ ).

По итогам 7-й ротации обогащение почвы гумусом и содержание в ней общего азота в варианте 6 снизилось, а уровень корреляции между этими признаками в опыте повысился ( $r = 0.95$ ). В конце 8-й ротации вариант 6 отличался наименьшими потерями общего азота, в то время как в вариантах с применением средних и высоких доз азотно-фосфорных удобрений (8 и 1а), они были на уровне контроля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, за 8 ротаций 6-польного севооборота гумусное состояние чернозема южного в длительном опыте с минеральными удобрениями негативно изменилось. Наиболее интенсивно минерализацию гумуса в вариантах опыта наблюдали в первые 3 ротации зернопаропропашного севооборота. В условиях зернопарового севооборота этот процесс замедлился, а в варианте 6, где применяли минимальные дозы азотно-фосфорных удобрений, в период 6-й ротации отмечено накопление гумусовых веществ. В целом в опыте максимальное снижение содержания гумуса по окончании 8-й ротации севооборота наблюдали в вариантах 8 и 1а, где вносили средние и высокие дозы азотно-фосфорных удобрений. Применение минимальной дозы в варианте 6 лучшим образом компенсировало потери гумуса чернозема южного в опыте при его длительном сельскохозяйственном использовании.

Анализ качественного состава гумуса в конце 8-й ротации севооборота показал наличие негативных изменений, выраженных в снижении доли гуминовых кислот. При этом в контроле эти изменения достигли максимума и к тому же сопровождались наиболее существенным уменьшением отношения ГК : ФК.

Средние и высокие дозы азотно-фосфорных удобрений, примененные в этих вариантах опыта, способствовали высокой микробиологической активности, связанной с минерализацией органического вещества. Поскольку большая часть общего азота почвы связана с органическим веществом, то вполне закономерным было наблюдать его снижение в опыте к концу 8-й ротации севооборота. При этом, как и в случае с гумусом, наименьшие его потери были отмечены в варианте 6, где систематически применяли минимальные дозы азотно-фосфорных удобрений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богуславская Н.В.* Севооборот и органическое вещество почвы // Экол. безопасность в АПК. Реферат. журн. 2008. № 3. С. 648.
2. *Туев Н.А.* Микробиологические процессы гумусообразования. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.
3. *Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е.* Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // Агрохимия. 2018. № 2. С. 3–21. <https://doi.org/10.7868/S0002188118020011>
4. *Климова Е.В.* Динамика гумуса и баланс элементов питания при длительном применении удобрений на черноземах Среднего Заволжья в зернопаропропашном севообороте // Экол. безопасность в АПК. Реферат. журн. 2000. № 4. С. 792.
5. *Шаповалова Н.Н.* Динамика показателей плодородия и продуктивность чернозема обыкновенного в последствии длительного применения минеральных удобрений в условиях Центрального Предкавказья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2019. № 3(77). С. 8–12.
6. *Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю., Сычев В.Г., Романенков В.А., Беличенко М.В.* Эффективность длительного применения удобрений в агроценозах степной зоны Саратовского Поволжья в условиях аридного климата // Бюл. Геосети ВНИИА. Вып. 15. М., 2014. 56 с.
7. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 336 с.
9. *Сычев В.Г., Лошаков В.Г., Романенков В.А., Беличенко М.В., Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю.* Плодородие черноземов засушливого Поволжья и продуктивность полевых культур при длительном применении минеральных удобрений // Бюл. Геосети ВНИИА. Вып. 26. М., 2017. 48 с.
10. *Возбуцкая А.Е.* Химия почвы / Под ред. Д.Л. Аскинази. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 1968. 428 с.

## **Dynamics of the Humus State of Southern Chernozem with Prolonged Use of Mineral Fertilizers in the Conditions of the Steppe Volga Region**

**D. Y. Zhuravlev<sup>a,#</sup>, T. M. Yaroshenko<sup>a</sup>, N. F. Klimova<sup>a</sup>, L. B. Saifullina<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Federal Agrarian Scientific Center of the South-East,  
ul. Tulaykova 7, Saratov 410010, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: dmitry\_zhuravlev80@mail.ru*

The results of monitoring the dynamics of humus and total nitrogen of the southern chernozem in a long-term stationary experiment with the use of mineral fertilizers are presented. In the first 3 rotations of the grain-to-crop rotation, intensive mineralization of humus was noted in all variants of the experiment. In the conditions of grain-steam crop rotation, this process slowed down, and in the variant with the use of minimum doses of nitrogen-phosphorus fertilizers in the 6th rotation, the accumulation of humic substances was revealed. The maximum decrease in humus content at the end of 8 rotations of crop rotation (more than 48 years) was observed in variants with the introduction of medium and high doses of nitrogen-phosphorus fertilizers. The use of a minimum dose of fertilizers best compensated for the loss of humus of the southern chernozem during prolonged agricultural use. In comparison with the initial data, negative changes in the qualitative composition of humus were noted in the experiment, expressed in a decrease in the proportion of humic acids. At the end of the 8th rotation, the total nitrogen content in the soil decreased in all variants of the experiment.

*Keywords:* humus, total nitrogen, mineral fertilizers, long-term stationary experience, southern chernozem, steppe Volga region.