

**Трансформация соединений углерода, азота и фосфора в черноземе южном
при длительном применении минеральных удобрений**

**Виктор Васильевич Пронько¹, Дмитрий Юрьевич Журавлев², Татьяна Михайловна Ярошенко²,
Надежда Федоровна Климова², Лариса Борисовна Сайфуллина²**

¹НПО «Сила жизни», г. Саратов, Россия, e-mail: viktor-pronko@mail.ru

²ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия, e-mail: d.zuravlev14@mail.ru

Аннотация. В условиях длительного стационарного опыта, проводимого в Саратовской области на черноземе южном, установлено, что за восемь ротаций шестипольного зернопарового севооборота (48 лет) на варианте без внесения удобрений потери углерода из слоя почвы 0–40 см были самыми высокими. Удобрения N32P16K7 и N38P13K8 на 1 га севооборотной площади снизили его потери на 29–32 %. При внесении N54P17K7 отмечено усиление миграции органического углерода в нижележащий слой 40–100 см. Содержание общего азота на контроле снизилось по сравнению с исходными данными на 8,7 %. Сохранению запасов азотных соединений в гумусовом слое почвы способствовало внесение N15P13K8 и N38P13K8 на 1 га севооборотной площади. Содержание валового фосфора как в удобренной, так и в удобренной почве за 48 лет исследований изменилось незначительно. Систематическое внесение удобрений привело к увеличению фракции кальций-фосфатов.

Ключевые слова: минеральные удобрения; чернозем южный; углерод; азот; фосфор; стационарный опыт.

Для цитирования: Пронько В. В., Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф., Сайфуллина Л. Б. Трансформация соединений углерода, азота и фосфора в черноземе южном при длительном применении минеральных удобрений // Аграрный научный журнал. 2023. № 3. С. 51–58. <http://10.28983/asj.y2023i3pp51-58>.

AGRONOMY

Original article

**Transformation of carbon, nitrogen and phosphorus compounds in southern chernozem
with prolonged use of mineral fertilizers**

Viktor V. Pronko¹, Dmitry Yu. Zhuravlev², Tatiana M. Yaroshenko², Nadezhda F. Klimova², Larisa B. Saifullina²

¹Production Association "The Power of Life", Saratov, Russia, e-mail: viktor-pronko@mail.ru

²Federal agrarian scientific center for South-East Region, Saratov, Russia, e-mail: d.zuravlev14@mail.ru

Abstract. In the conditions of a long stationary experiment conducted in the Saratov region on the Southern Chernozem, it was found that for eight rotations of a six-field grain-pair crop rotation (48 years) in the variant without fertilization, carbon losses from the 0–40 cm layer were the highest. Fertilizers N32P16K7 and N38P13K8 per 1 ha of crop rotation area reduced its losses by 29–32 %. When applying N54P17K7, an increase in the migration of organic carbon into the underlying layer of 40–100 cm was noted. The total nitrogen content in the control decreased by 8.7 % compared to the initial data. The introduction of N15P13K8 and N38P13K8 per 1 ha of crop rotation area contributed to the preservation of nitrogen compounds in the humus layer of the soil. The content of total phosphorus in both non-fertilized and fertilized soil has changed slightly over 48 years of research. Systematic application of fertilizers led to an increase in the fraction of calcium phosphates.

Keywords: long-term stationary experiment with fertilizers, Southern Chernozem, carbon, nitrogen, phosphorus.

For citation: Pronko V. V., Zhuravlev D. Y., Yaroshenko T. M., Klimova N. F., Saifullina L. Transformation of carbon, nitrogen and phosphorus compounds in southern chernozem with prolonged use of mineral fertilizers. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(3):51–58. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i3pp51-58>.

Введение. В научной литературе вопрос, касающийся влияния различных видов удобрений на плодородие почв, обсуждается уже достаточно долго. Но выводы, к которым приходят авторы работ, носят неоднозначный характер. К настоящему времени сформировалась доминирующая точка зрения о положительном влиянии органических удобрений (главным образом КРС) на агрохимические свойства почв [4, 8]. Вместе с тем в литературе можно встретить и другие мнения.





Так, опубликованы результаты опытов, в которых систематическое внесение органических удобрений приводило к усиленной минерализации почвенного гумуса [16, 17]. Относительно минеральных удобрений единого мнения нет, встречаются противоречивые точки зрения, как о снижении запасов гумуса при их применении [3, 7], так и о его сохранении за счет увеличения массы поступающих в почву растительных остатков [2]. Утверждается также, что применение на 1 га севооборотной площади азота в дозах от 40 до 100 кг обеспечивает бездефицитный баланс гумуса [9].

Такая разнонаправленность утверждений возможна, если учитывать, что все эти исследования имеют большую пространственную удаленность. Они выполнялись в разных почвенно-климатических зонах, имеющих неодинаковые гидротермические условия и отличающиеся видом возделываемых культур, количеством и качеством поступающих в почву растительных остатков. Кроме того, процессы превращения в почве соединений углерода, азота, фосфора и других химических элементов происходят в течение достаточно продолжительного периода времени. Отсюда становится понятным, что только в условиях длительных стационарных опытов можно получить достаточно полную и объективную информацию по данному вопросу.

В 1960-х годах в черноземно-степной зоне Поволжья научными учреждениями было заложено 6 стационарных опытов с удобрениями. В связи с различными экономическими преобразованиями остался только один. Полученные в этом опыте сведения о влиянии различных видов и доз удобрений на урожай зерновых культур и их качество, продуктивность севооборотов за ротацию, баланс питательных веществ, окупаемость удобрений урожаем и другие ранее уже публиковались [11, 13, 14, 19, 20]. Результаты изменения основных агрохимических свойств чернозема южного в первых ротациях севооборота ранее также публиковались [5, 12, 18].

Цель данных исследований – изучить трансформацию соединений органического углерода, валовых запасов азота и фосфора в черноземе южном при длительном внесении минеральных удобрений.

Методика исследований. Длительный стационарный опыт закладывался с повторением во времени в 1969–1971 гг. В опыте завершено восемь ротаций шестипольного севооборота. В настоящей работе проанализированы варианты, где вносили минеральные удобрения в различных грациях (минимальная, средняя, повышенная, высокая). Такое деление является условным и построено на величине среднегодовых прибавок урожая за ротацию севооборота.

Для изучения агрохимических свойств чернозема южного под всеми культурами севооборота ежегодно осенью на постоянно закрепленных участках отбирали пробы почв в слоях 0–20 и 20–40 см. После завершения каждой ротации образцы почвы отбирали на глубину 100 см послойно, через 20 см.

Содержание углерода в почве определяли по Тюрину в модификации ЦИНАО, его групповой состав – по Кононовой – Бельчиковой [1]. Валовый азот – по Кьельдалю после отгонки из кислотного минерализата. Его фракционный состав изучали по Шконде – Королевой [1]. Валовый фосфор определяли по ГОСТ 26261-84, фракционный состав минеральных фосфатов – по Чангу – Джексону [10]. Доступные для растений формы фосфора извлекали 1%-й углеаммонийной вытяжкой – по Мачигину [10].

Результаты исследований. За восемь ротаций севооборота общей тенденцией в динамике органического углерода в слое 0–40 см было его снижение по отношению к исходному уровню (табл. 1). Но по вариантам опыта оно проявилось неоднозначно, как по слоям гумусового горизонта, так и во временном аспекте.

В почве контрольного варианта среднегодовая минерализация органического углерода за первые две ротации составила 0,20 т/га в год. От суммы всех потерь за 48 лет наблюдений это составило 14,4 %. В последующие ротации (третья – четвертая) среднегодовые потери соединений углерода достигли уже 0,68 т/га в год. Самая же значительная в условиях нашего стационарного опыта убыль органических соединений в неудобренной почве произошла в восьмой ротации севооборота [1, 2]. Исключениями стали результаты, полученные в V–VI ротациях. Здесь имело место увеличение содержания углерода, которое составило 0,48 т/га в год. Мы предполагаем, что это произошло вследствие таких причин, как повышенное поступление в почву пожнивно-корневых остатков (были благоприятные гидротермические условия) и снижение активности почвенной биоты в результате возрастания в почве соотношения углерод:азот [9]. В этот же временной период (1994–2012 гг.) имело место удлинение теплого периода, отмечалось более позднее наступление отрицательных тем-

**Содержание и запасы углерода (С) в длительном стационарном опыте
в слое почвы 0–40 см (среднее по трем закладкам опыта) за 48 лет наблюдений**

Ротация		Без удобрений	На 1 га севооборотной площади				
			N15P13K8	N32P16K7	N38P13K8	N54P17K7	Навоз, 2,9 т/га
I	1	2,50	2,51	2,47	2,52	2,52	2,52
	2	120,00	120,48	118,56	120,96	120,96	120,96
II	1	2,45	2,47	2,44	2,45	2,43	2,49
	2	–2,40	–1,92	–1,44	–3,36	–4,32	–1,44
III	1	2,31	2,31	2,39	2,36	2,24	2,41
	2	–672	–7,68	–2,40	–4,32	–9,12	–3,84
IV	1	2,28	2,34	2,38	2,36	2,36	2,38
	2	–1,44	+1,44	–0,48	0,00	+5,76	–1,44
V	1	2,31	2,28	2,28	2,24	2,25	2,28
	2	+1,44	–2,88	–4,80	–5,76	–5,28	–4,80
VI	1	2,29	2,42	2,31	2,34	2,23	2,31
	2	–0,96	+6,72	+1,44	+4,80	–0,96	+1,44
VII	1	2,32	2,31	2,33	2,37	2,24	2,34
	2	+1,44	–5,28	+0,96	+1,44	+0,48	+1,44
VIII	1	2,16	2,26	2,23	2,29	2,13	–
	2	–7,68	–2,40	–4,80	–3,84	–5,28	–
Потери углерода (С) за 1969–2018 гг., т/га		–16,32	–12,00	–11,52	–11,04	–18,72	–8,64
По отношению к контролю, т/га		–	+4,80	+3,36	+6,24	–1,44	+0,96

Примечание: 1 – содержание углерода (С); 2 – изменение запасов углерода за текущую ротацию, т/га.

ператур и увеличение количества атмосферных осадков в послеуборочный период. Все это вместе взятое создало лучшие условия для гумификации поступающих в почву органических остатков [1].

В удобренной почве трансформация органического углерода во многом зависела от дозы и периодичности внесения минеральных удобрений. Так, на варианте, где на 1 га севооборотной площади вносили N15P13K8, в первые 12 лет наблюдений потери углерода были ниже, чем на неудобренном контроле. Своего максимума они достигли только в VII ротации (см. табл. 1).

При ежегодном внесении N38P13K8 (средняя доза) в первых четырех ротациях потери органического углерода составили 0,32 т/га в год, а своего максимума достигли только в V ротации (0,96 т/га). В последующих ротациях на этом варианте минерализация органических веществ замедлилась, и в итоге за 48 лет наблюдений она стала ниже, чем на не удобрявшейся почве (вар. 1).

Максимальные потери в черноземе южном органического углерода в слое 0–40 см постоянно наблюдались на варианте N54P17K7. За восемь ротаций севооборота минерализация органических соединений происходила так активно, что почва потеряла углерода на 14,7 % больше, чем на контроле, который не удобрялся. По нашему мнению, это произошло вследствие сужения соотношения углерод:азот в почвенной среде, что и привело к активной деятельности почвенных микроорганизмов и ферментативных систем [16].





Довольно интересные данные получены при использовании органических удобрений. Так, в I ротации севооборота заделка в почву 40 т/га навоза снизила потери углерода более чем в 1,5 раза по отношению к контролю. Внесение на этом же варианте во II–V ротациях по 20 т/га навоза способствовало активизации минерализационных процессов. В результате к концу V ротации минерализация углеродных соединений достигла 0,80 т/га в год (см. табл. 1). Таким образом, нами показано, что при заделке в почву 40 т/га навоза запасы гумуса в слое 0–40 см стабилизируются, а внесение 20 т/га навоза (которое происходит в паровом поле) стимулирует активность почвенной биоты и приводит к разложению гумуса.

Научный интерес вызывает вопрос миграции водорастворимых соединений углерода (в частности, фульвокислот) в нижние слои почвенного профиля. Происходит ли она на почвах аридной зоны? Наши результаты позволили установить, что перемещение вниз по почвенному профилю гумусовых соединений происходило как в не удобрявшейся почве, так и при использовании удобрений (табл. 2). Так, на контрольном варианте, где во II–V ротациях, как отмечено выше, наблюдалась интенсивная минерализация органического вещества в слое 0–40 см, происходили незначительные изменения содержания углерода в слое 40–100 см. Но после V ротации в нижней части почвенного профиля отмечалось накопление водорастворимых соединений органического углерода.

В слое чернозема южного 40–100 см при внесении на 1 га севооборотной площади N32P16K7 содержание углерода оставалось стабильным в течение 42 лет. Только в VIII ротации имело место некоторое его снижение. На варианте N54P17K7 на протяжении всех ротаций севооборота происходило активное образование водорастворимых соединений углерода, их перемещение и накопление в слое 40–100 см (см. табл. 2). После прекращения внесения навоза (VI–VII ротации) запасы углерода в слое 40–100 см снизились от 120,0 до 86,3 т/га.

Наблюдения за динамикой валового азота в длительном стационарном опыте показали, что за восемь ротаций севооборота его содержание несколько изменилось. По окончании IV ротации самые низкие потери валового азота были отмечены на вариантах с применением минимальных доз азотно-фосфорных удобрений (N15P13K8) и навоза. Видимо, систематическое применение навоза несколько компенсировало потери азота чернозема южного за счет образования лабильных форм гумуса в процессе гумификации. В дальнейшем отказ от применения органических удобрений способствовал увеличению потерь валового азота на данном варианте до уровня контроля (табл. 3).

Минимальные дозы азотно-фосфорных удобрений вызывали существенные колебания содержания валового азота по ротациям севооборота. Однако по итогам VIII ротации динамика запасов валового азота на этом варианте оказалась положительной. Небольшие дозы азотно-фосфорных удобрений в определенной степени обладают компенсационным эффектом по отношению к почвенным процессам, связанным с минерализацией органического вещества, где сосредоточена основная часть запасов почвенного азота. Минимальные дозы удобрений в данном случае в меньшей мере стимулируют активность почвенных микроорганизмов, отвечающих за процессы минерализации органических соединений азота. На варианте с применением N38P13K8, по всей видимости, был установлен определенный баланс, при котором в засушливых условиях степной зоны эта доза азотных удобрений обеспечивала необходимое питание азотом культур севооборота, а ее негативное воздействие на почвенное плодородие чернозема южного было минимальным. Высокие дозы минеральных удобрений, как и их полное отсутствие, существенно повышают уровень антропогенной нагрузки на пашню. В первом случае усиливается минерализация органического вещества почвы вследствие уменьшения соотношения C:N. Этому также способствует рост прихода пожнивно-корневых остатков, стимулирующих микробиологическую активность почвы. Следует отметить и повышение потребления азота культурами севооборота, и отчуждение его с урожаем. Во втором случае основной причиной является нарушение баланса азота в почве, когда приходная часть не обеспечивает необходимого уровня его возврата.

Изменения в содержании доступных для растений фосфатов чернозема южного зависят не только от потребления фосфора культурами севооборота, но и характера поглощения растворимых фосфатов почвой [15].

Содержание углерода (C) в слое почвы 40–100 см длительного стационарного опыта, %

На 1 га севооборотной площади	Слой, см	Ротация					
		II	IV	V	VI	VII	VIII
Контроль (без удобрений)	40–60	1,62	1,44	1,34	1,78	1,78	1,42
	60–80	1,09	0,98	0,92	1,20	1,24	0,95
	80–100	0,86	0,64	0,89	0,82	0,83	0,81
	40–100	1,19	1,02	1,05	1,27	1,28	1,06
N32P16K7	40–60	1,67	1,42	1,42	1,51	1,48	1,11
	60–80	0,88	0,96	0,87	1,08	0,87	0,97
	80–100	0,69	0,62	1,11	0,70	0,73	0,77
	40–100	1,08	1,00	1,13	1,10	1,03	0,95
N38P13K8	40–60	1,68	1,50	1,43	1,71	–	–
	60–80	0,88	1,00	0,86	1,14	–	–
	80–100	0,74	0,61	0,67	0,82	–	–
	40–100	1,10	1,04	0,99	1,22	–	–
N54P17K7	40–60	1,26	1,39	1,44	1,59	1,75	1,82
	60–80	0,94	0,94	1,06	1,29	1,12	1,02
	80–100	0,67	0,59	0,85	0,87	1,00	0,50
	40–100	0,96	0,97	1,12	1,25	1,29	1,11
Навоз, 2,9 т/га	40–60	1,77	–	1,66	1,57	1,52	–
	60–80	1,35	–	1,43	0,95	0,79	–
	80–100	0,71	–	1,02	0,73	0,67	–
	40–100	1,28	–	1,37	1,08	0,99	–

Таблица 3

Динамика содержания валового азота, мг/кг, в длительном стационарном опыте (среднее по трем закладкам опыта) за 48 лет исследований в слое 0–40 см

Ротация		Удобрения на 1 га севооборотной площади					
		Без удобрений	N15P13K8	N32P16K7	N38P13K8	N54P17K7	Навоз, 2,9 т/га
I	1	2300	2300	2300	2300	2300	2300
II	1	2200	2200	2200	2200	2200	2300
	2	–100	–100	–100	–100	–100	0,0
IV	1	2100	2200	2100	2100	2100	2200
	2	–100	0,0	–100	–100	–100	–100
VII	1	2000	2000	2000	2100	2000	2100
	2	–100	–200	–100	0,0	–100	–100
VIII	1	2100	2500	2100	2400	2100	–
	2	+100	+500	+100	+300	+100	–
Потери за 8 ротаций, мг/кг		–200	+200	–200	+100	–200	–200
Изменения в среднем в год, мг/кг		–4,2	+4,2	–4,2	+2,1	–4,2	–4,2

Примечание: 1 – содержание валового азота, мг/кг; 2 – изменение запасов валового азота за текущую ротацию, мг/кг.





Результаты, полученные в стационарном опыте, показали, что за период от закладки до III ротации систематическое применение минеральных удобрений в дозе N54P17K7 не повлияло на содержание рыхлосвязанных фосфатов (1-я фракция). Однако в удобренной почве незначительно снизилось количество алюмо-фосфатов (2-я фракция) и железо-фосфатов (3-я фракция). Сумма минеральных фосфатов в этой ротации под влиянием удобрений практически не изменилась. При этом, начиная с IV ротации, было отмечено снижение всех фракций минеральных фосфатов, а их сумма уменьшилась на контроле на 35 %, а на варианте N54P17K7 – на 19 % по отношению к исходному содержанию (табл. 4). В последующий период (V–VIII ротации) сумма минеральных фосфатов находилась практически на одном уровне, но при этом менялся их фракционный состав. В первую очередь происходило увеличение фосфатов 2-й и 3-й фракций.

Таблица 4

**Содержание валового фосфора и фракционный состав минеральных фосфатов
(по Чангу – Джексону) в слое 0–40 см**

Вариант	Фосфор, мг/кг			Минеральные фосфаты по фракциям, мг/кг				
	1	2	3	1-я	2-я	3-я	4-я	сумма
III ротация								
Контроль	1090	1019	93	0,5	5,3	4,6	60,4	70,8
N54P17K7	1270	1204	95	0,5	3,7	3,9	58,3	66,4
IV ротация								
Контроль	1260	1215	96	0,2	3,7	0,9	40,4	45,2
N54P17K7	1390	1336	96	0,3	7,1	4,5	41,6	53,5
V ротация								
Контроль	1360	1310	96	1,2	0	8,7	40,0	49,9
N15P13K8	1320	1269	96	0,7	2,5	4,3	43,5	51,0
N32P16K7	1360	1317	97	0,6	4,3	4,2	34,0	43,1
N54P17K7	1390	1348	97	0,5	4,0	3,1	34,6	42,2
VI ротация								
Контроль	1180	1137	96	0,3	3,8	2,9	36,3	43,3
N54P17K7	1280	1228	96	0,5	2,6	6,3	42,1	51,5
VII ротация								
Контроль	1130	1090	96	0,2	2,9	1,8	34,7	39,6
N15P13K8	1170	1132	97	0,1	4,0	1,0	32,9	38,0
N32P16K7	1220	1177	96	0,4	4,3	3,1	35,5	43,3
N54P17K7	1280	1238	97	0,5	5,9	1,7	33,4	41,5
VIII ротация								
Контроль	1200	1162	97	0,7	2,1	0,6	34,2	37,6
N15P13K8	1310	1267	97	0,3	2,9	1,7	38,3	43,2
N32P16K7	1320	1257	95	1,2	3,5	9,1	49,6	63,4
N54P17K7	1280	1227	96	0,3	4,1	0	48,4	52,8
Среднее								
Контроль	1220	1172	96	0,5	3,0	3,2	41,0	47,7
N15P13K8	1230	1186	96	0,3	3,1	2,4	38,2	44,0
N32P16K7	1260	1210	96	0,7	4,0	5,5	39,7	49,9
N54P17K7	1310	1259	96	0,4	4,5	3,2	43,1	51,2

Примечание: 1 – общий фосфор; 2 – органический фосфор; 3 – % органического фосфора от общего.



Анализ полученных данных свидетельствовал о том, что в среднем за восемь ротаций севооборота (48 лет) сумма активных минеральных фосфатов, определяемых по Чангу – Джексону, по вариантам опытов изменилась незначительно. Различия между вариантами по сумме минеральных фосфатов не превышали 16,3 %. Что касается отдельных фракций, то здесь произошли некоторые изменения. Прежде всего, под влиянием минеральных удобрений, вносимых в средних (N32P16K7) и высоких (N54P17K7) дозах по сравнению с контролем, резко возросли запасы фосфатов второй группы (на 33–50 %). Известно, что в эту фракцию входят алюмо-фосфаты и кислые фосфаты кальция и магния, являющиеся ближайшим резервом фосфора для питания растений [9]. На варианте с внесением N32P16K7 также было отмечено существенное увеличение по сравнению с контролем (на 71 %) железо-фосфатов (3-я фракция). Применение минимальной системы удобрений (N15P13K8) в среднем за 48 лет не повлияло как на общую сумму минеральных фосфатов, так и на их отдельные фракции.

Заключение. Содержание органического вещества в гумусовом слое чернозема южного варьирует во времени. За 48 лет наблюдений наиболее высокие потери углерода были отмечены на контрольном варианте. При внесении низких и средних доз минеральных удобрений его убыль (по отношению к контролю) сократилась на 29–32 %. Высокие дозы минеральных удобрений (N54P17K7 на 1 га севооборотной площади) активизировали минерализацию органического углерода, его потери превысили контроль. В опыте отмечено усиление миграции соединений углерода в слой 40–100 см (горизонты В и ВС) как в удобренной, так и неудобренной почве.

Снижение общего азота в гумусовом слое чернозема южного за изучаемый период на большинстве вариантов стационарного опыта составляло более 4 мг/кг в среднем в год. Систематическое внесение минимальных (N15P13K8) и средних (N38P13K8) доз удобрений способствовало стабилизации потерь азота.

Длительное применение минеральных удобрений в различных дозах не оказало существенного влияния на запасы валового фосфора в слое 0–40 см чернозема южного. Также за 48 лет наблюдений минеральные удобрения не оказали существенного влияния на сумму минеральных фосфатов, определяемых по Чангу – Джексону. При этом на 33–50 % возросло содержание кальций-фосфатов (2-я фракция), которые являются ближайшим резервом фосфорного питания растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Багаутдинов Ф. Я. Гумусное состояние серой лесной почвы и чернозема типичного при внесении органических и минеральных удобрений // Агрохимия. 1993. № 2. С. 41–52.
3. Богданов Ф. М., Середа Н. А. Влияние различных систем удобрений на гумусное состояние и продуктивность чернозема типичного // Агрохимия. 1998. № 4. С. 18–24.
4. Васильев В. А., Филатов Н. В. Справочник по органическим удобрениям. М.: Россельхозиздат, 1984. 254 с.
5. Влияние минеральных удобрений на азотный режим южного чернозема засушливого Поволжья / М. П. Чуб [и др.] // Агрохимия. 2005. № 10. С. 5–12.
6. Гамзиков Г. П., Кулагина М. Н. Влияние длительного систематического применения удобрений на органическое вещество почв // Почвоведение. 1991. № 4. С. 57–67.
7. Кулаковская Т. Н., Кнашис В. Ю., Богдевич И. М. Оптимальные параметры плодородия почв. М.: Колос, 1984. 271 с.
8. Минеев В. Г. Агрохимия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 720 с.
9. Минеев В. Г., Ремпе Е. Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений // Агрохимия. 1991. № 3. С. 35–49.
10. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.
11. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения в различных гидротермических условиях степного Поволжья / В. В. Пронько [и др.] // Аграрный научный журнал. 2017. № 9. С. 27–32.
12. Плодородие чернозема южного и продуктивность зернопарового севооборота при длительном применении удобрений / М. П. Чуб [и др.] // Агрохимия. 2010. № 7. С. 3–13.
13. Плодородие черноземов засушливого Поволжья и продуктивность полевых культур при длительном применении минеральных удобрений / В. Г. Сычев [и др.] // Бюл. Геосети ВНИИА. 2017. Вып. 26. 48 с.
14. Продуктивность севооборота и баланс питательных веществ при длительном внесении минеральных удобрений в Степном Поволжье / В. В. Пронько [и др.] // Аграрный научный журнал. 2017. № 5. С. 33–40.



15. Сушеница Б. А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: Колос, 2007. 376 с.
16. Туев Н. А. Микробиологические процессы гумусообразования. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.
17. Шевцова Л. К., Сизова Д. М. Влияние длительного применения удобрений на органическое вещество и соединения азота в почвах разного типа // Удобрение и плодородие почв. М.: ВИУА, 1974. С. 20–58.
18. Эффективность и баланс фосфора в зернопаровом севообороте на черноземе южном при длительном применении удобрений / М. П. Чуб [и др.] // Агрохимия. 2004. № 11. С.18–26.
19. Эффективность длительного применения удобрений в агроценозах степной зоны Саратовского Поволжья в условиях аридного климата / М.П. Чуб [и др.] // Бюл. Геосети ВНИИА. 2014. Вып. 15. 56 с.
20. Ярошенко Т. М., Журавлев Д. Ю., Климова Н. Ф. Влияние длительного применения различных доз минеральных удобрений на продуктивность культур зернопарового севооборота в условиях засушливой степи Поволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 49–56.

REFERENCES

1. Agrochemical methods of soil research. Moscow: Nauka; 1975. 656 p. (In Russ.).
2. Bagautdinov F. Ya. Humus state of gray forest soil and typical chernozem when applying organic and mineral fertilizers. *Agrochemistry*. 1993;(2):41–52. (In Russ.).
3. Bogdanov F. M., Sereda N. A. Influence of various systems fertilizers on the humus state and productivity of typical chernozem. *Agrochemistry*. 1998;(4):18–24. (In Russ.).
4. Vasiliev V. A., Filatov N. V. Handbook of organic fertilizers. Moscow: Rosselkhoz nadzor; 1984. 254 p. (In Russ.).
5. The influence of mineral fertilizers on the nitrogen regime of the southern chernozem of the arid Volga region / M. P. Chub et al. *Agrochemistry*. 2005;(10):5–12. (In Russ.).
6. Gamzikov G. P., Kulagina M. N. Influence of long-term systematic application of fertilizers on soil organic matter. *Soil science*. 1991;(4):57–67. (In Russ.).
7. Kulakovskaya T. N., Knashis V. Yu., Bogdevich I. M. Optimal parameters of soil fertility. Moscow: Kolos; 1984. 271 p. (In Russ.).
8. Mineev V. G. *Agrochemistry*. 2nd ed., reprint. and additional. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 2004. 720 p. (In Russ.).
9. Mineev V. G., Rempe E. H. Ecological consequences of prolonged use of elevated and high doses of mineral fertilizers. *Agrochemistry*. 1991;(3):35–49. (In Russ.).
10. Mineev V.G. *Practicum on agrochemistry*. Moscow: Publishing House of Moscow State University; 2001. 689 p. (In Russ.).
11. Responsiveness of agricultural crops to mineral fertilizers in various hydrothermal conditions of the steppe Volga region / V. V. Pronko et al. *Agrarian Scientific Journal*. 2017;(9): 27–32. (In Russ.).
12. Fertility of southern chernozem and productivity of grain-steam crop rotation with prolonged use of fertilizers / M. P. Chub et al. *Agrochemistry*. 2010;(7): 3–13. (In Russ.).
13. Fertility of chernozems of the arid Volga region and productivity of field crops with prolonged use of mineral fertilizers / V. G. Sychev et al. *Byull. VNIIA geosets*. 2017;26:48. (In Russ.).
14. Productivity of crop rotation and balance of nutrients during long-term application of mineral fertilizers in the Steppe Volga region / V. V. Pronko et al. *Agrarian scientific Journal*. 2017;(5):33–40. (In Russ.).
15. Sushenitsa B. A. Phosphate level of soils and its regulation. Moscow: Kolos; 2007. 376 p. (In Russ.).
16. Tuev N. A. Microbiological processes of humus formation. Moscow: Agropromizdat; 1989. 239 p. (In Russ.).
17. Shevtsova L. K., Sizova D. M. The effect of long-term use of fertilizers on organic matter and nitrogen compounds in soils of various types. Fertilizer and soil fertility. Moscow: VIUA; 1974. P. 20–58. (In Russ.).
18. Efficiency and balance of phosphorus in grain-steam crop rotation on southern chernozem with long-term use of fertilizers / M. P. Chub et al. *Agrochemistry*. 2004;(11):18–26. (In Russ.).
19. The effectiveness of long-term use of fertilizers in agroecosystems of the steppe zone of the Saratov Volga region in arid climate / M. P. Chub et al. *Byull. VNIIA geosets*. 2014;15:56 p. (In Russ.).
20. Yaroshenko T. M., Zhuravlev D. Yu., Klimova N. F. The effect of long-term use of various doses of mineral fertilizers on the productivity of crops of grain-steam crop rotation in the conditions of the arid steppe of the Volga region. *Agrarian scientific journal*. 2021;(8):49–56. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 16.12.2022; одобрена после рецензирования 20.01.2023; принята к публикации 27.01.2023.

The article was submitted 16.12.2022; approved after 20.01.2023; accepted for publication 27.01.2023.