

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

**В.Ф. Пивоваров¹, ак. РАН, С.М. Надежкин¹, д.б.н., проф. РАН
А.В. Солдатенко¹, чл.-корр. РАН, Е.В. Воронкин², к.с.-х.н.**

¹. Федеральный научный центр овощеводства (ФНЦО)

². Западно-Сибирская овощная опытная станция – филиал ФГБНУ ФНЦО



Рассматривается характер влияния длительного применения различных сочетаний минеральных и органических удобрений на плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность овощных культур по результатам исследований в стационарном полевом опыте. Показано, что экстенсивное использование почвы в овощном севообороте приводит к существенному снижению содержания гумуса – на 1,32% в пахотном слое. Использование минеральных удобрений в парных сочетаниях и в виде полного минерального удобрения не оказывает существенного влияния на содержание гумуса. Систематическое применение органических удобрений приводит к росту содержания гумуса на 0,98% к контролю, но не обеспечивает его поддержание на исходном уровне. Наибольший прирост урожайности огурца и томата получен при использовании полного минерального удобрения в полуторной дозе.

Ключевые слова: удобрения, гумус, плодородие, урожайность, фосфор, калий, огурец, томат.

Для цитирования: Пивоваров В.Ф., Надежкин С.М., Солдатенко А.В., Воронкин Е.В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество овощных культур // Плодородие. – 2021. – №3. – С. 89-92. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.17

Проблема рационального сельскохозяйственного использования пахотных почв в овощеводстве в настоящее время стоит особо остро. Возделывание новых сортов и гибридов овощных культур, дающих высокие урожаи при благоприятных погодных условиях или при орошении, предполагает использование значительного количества удобрений [1]. При этом увеличение применения минеральных удобрений в овощеводстве требует разработки строгих научных основ их использования для получения высокой эффективности, что невозможно без данных длительных стационарных опытов. Результаты длительных опытов с внесением удобрений в стационарных севооборотах позволяют разработать объективные научные принципы построения системы удобрения для конкретной почвенно-климатической зоны, получить максимальную продуктивность овощных культур с биологически ценным урожаем и обеспечить наибольшую агроэкономическую эффективность удобрений [2]. За последние 10 лет применение минеральных удобрений под овощные культуры колеблется на уровне 170-200 кг д.в./га.

Удобрения могут по-разному влиять на свойства почвы. Как правило, многолетнее применение органических удобрений увеличивает содержание гумуса, емкость поглощения почв, степень их насыщенности ос-

нованиями, при этом на черноземах снижается обменная и гидролитическая кислотность почвы [3].

Органическое вещество почвы играет ключевую роль в улучшении физических, химических и биологических свойств почвы. Сохранение количества и качества почвенного органического вещества считается главным компонентом устойчивого управления почвой и поддержания её качества [4]. Использование органических и минеральных удобрений – наиболее важный прием, применяемый в сельском хозяйстве для улучшения качества почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур. Сбалансированное внесение органических удобрений и их сочетаний с минеральными может увеличивать содержание гумуса и поддерживать высокое плодородие почвы [5, 6].

В исследованиях ученых Всероссийского НИИ сахарной свеклы и сахара в многолетнем опыте на черноземе выщелоченном установлено, что наибольшие потери гумуса были в первые десятилетия после его закладки, особенно на неудобренном фоне. В дальнейшем содержание органического вещества в почве стабилизировалось. Длительное применение $N_{45-120}P_{45-120}K_{45-120} + 50$ т/га навоза в пару способствовало улучшению гумусного состояния чернозема, что подтверждалось увеличением общего количества гумуса в почве и увеличением в нем отношения $C_{ГК}:C_{ФК}$ [7].

Применение органических и минеральных удобрений – необходимое условие улучшения питательного режима чернозема выщелоченного в лесостепи Центрально-Черноземного региона. Обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия в процессе вегетации снижается с глубиной, но в отношении калия эта закономерность проявляется слабее. Минеральные удобрения в большинстве случаев обеспечивают повышенное содержание элементов питания в период вегетации, а органические – фосфора и калия в более глубоких слоях почвы [8]. Содержание обменного калия в черноземе, даже при его высокой буферности, подвержено значительным изменениям. Различные виды минеральных удобрений по-разному влияют на динамику запасов K_2O в метровом профиле почвы. Систематическое внесение калийных удобрений способствует накоплению обменного калия в виде остаточных форм.

Методика. Исследования проводились на Западно-Сибирской овощной опытной станции (ЗСОС) – филиале ФГБНУ ФНЦО (Алтайский край) в полевом опыте, заложенном в 1942 г. с использованием общепринятых методик.

Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый иловато – пылеватый с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной. Агротехника овощных культур и картофеля – общепринятая в регионе. Обработка почвы заключалась в проведении послеуборочного дискования, зяблевой вспашки на глубину 25-27 см, ранневесеннего боронования в 2 следа, внесения минеральных и органических удобрений согласно схеме и повторной перепашке на 20-22 см или культивации с целью заделки удобрений.

Из минеральных удобрений вносили: аммиачную селитру – 34,4%, суперфосфат двойной гранулированный (P_2O_5) – 44% и сульфат калия (K_2O) – 50%. В качестве органических удобрений (ОУ) использовали торфопомётный компост со средним содержанием NO_3 – 1,17%, P_2O_5 – 0,475, K_2O – 0,48%. Опыт проведён в пятипольном овощном севообороте с чередованием культур: 1 – томат; 2 – капуста; 3 – морковь; 4 – картофель; 5 – огурец. Повторность опыта четырехкратная, общая площадь делянок 169 м², учётная – 30 м².

Содержание гумуса определяли по Тюрину в модификации Симанова, подвижного фосфора и обменного калия – по Чирикову, биохимическую оценку овощных культур – общепринятыми методами [9]. Учет урожая – сплошной поделаноочный.

Схема опыта (количество удобрений, внесенных за ротацию севооборота на 1 га севооборотной пашни):

1. Без удобрения (контроль); 2. $N_{56}P_{81}K_{66}$; 3. $N_{56}K_{66}$; 4. $P_{81}K_{66}$; 5. $N_{84}P_{121}K_{99}$; 6. Органические удобрения, 32 т/га; 7. Органические удобрения, 32 т/га + $N_{56}P_{81}K_{66}$; 8. Последствие удобрений; 9. $N_{56}P_{81}$.

Результаты и их обсуждение. Перед закладкой опыта (в 1942 г.) содержание гумуса на опытном участке в слое почвы 0-20 см составляло 5,08%. Результаты наших исследований показали, что экстенсивное использование чернозема выщелоченного в течение 75 лет приводит к снижению содержания гумуса в пахотном (0-20 см) слое почвы, в среднем по двум полям, на 1,32% (табл. 1). Даже в сравнении с 1968 г., когда была принята существующая в настоящее время система удобрения в севообороте, содержание гумуса в контрольном варианте снизилось на 0,36%.

1. Влияние длительного применения удобрений на содержание гумуса в черноземе выщелоченном в слое 0-20 см, %

Вариант	Поле 1, 2017 г.	Поле 8, 2018 г.	Среднее по двум полям	Прибавка к контролю
1. Без удобрений (контроль)	3,69	3,82	3,76	-
2. $N_{56}P_{81}K_{66}$	3,94	4,13	4,04	+0,28
3. $N_{56}K_{66}$	3,98	3,77	3,88	+0,12
4. $P_{81}K_{66}$	4,00	4,12	4,06	+0,30
5. $N_{84}P_{121}K_{99}$	4,17	4,33	4,25	+0,49
6. ОУ, 32 т/га	4,96	4,51	4,74	+0,98
7. ОУ, 32 т/га + $N_{56}P_{81}K_{66}$	4,99	4,76	4,88	+1,12
8. Последствие удобрений*	4,25	4,31	4,28	+0,52
9. $N_{56}P_{81}$	3,97	3,95	3,96	+0,20
HCP_{05}	0,33	0,35	0,36	

*За предшествующие ротации было внесено 400 т/га органических удобрений + $N_{400}P_{660}K_{540}$.

Использование минеральных удобрений в парных сочетаниях (PK, NP, NK) и в виде полного минерального удобрения в одинарной дозе (NPK) не оказало существенного влияния на содержание гумуса. По-видимому, рост урожайности и сопровождающееся при этом увеличение количества пожнивных-корневых остатков, поступающих в почву после уборки овощных культур, повлекли за собой рост биологической активности и, как следствие, усиленную минерализацию растительных остатков. Побочная продукция овощных культур, возделываемых в опыте, характеризовалась низким отношением углерода к азоту (<20), что подтверждено исследованиями и в других почвенно-климатических зонах [10]. В то же время использование полуторной дозы минеральных удобрений ($N_{84}P_{121}K_{99}$) обеспечило рост содержания гумуса, в среднем по двум полям, на 0,49%.



Рис. Возделывание томата

При возделывании полевых культур, характеризующихся широким отношением C:N в послеуборочных остатках, т.е. в полевых севооборотах, использование минеральных удобрений в определенных случаях может способствовать накоплению гумуса в черноземах. Как правило, это происходит в условиях неустойчивого (недостаточного) увлажнения [7]. На серой лесной почве Новосибирской области при внесении минеральных удобрений и в контрольном варианте складывался отрицательный баланс углерода в почве. Из этого сделан вывод о том, что для поддержания бездефицитного баланса гумуса в пахотном слое нужно заделывать в почву рас-

тительные остатки, а в случае необходимости расширенного воспроизводства гумуса следует дополнительно применять минеральные удобрения в оптимальных дозах. Это будет способствовать сохранению отношений между C:N и C:P в почве, что создаст основу для устойчивого функционирования агроэкосистем [11].

Систематическое применение органических удобрений в дозе 32 т/га севооборотной пашни способствовало росту содержания гумуса на 0,69-1,27%, в зависимости от поля (+0,98% в среднем по двум полям). При этом положительные изменения характерны для первого поля, где в пахотном слое прирост гумусированности составил 1,27%, в подпахотном – 1,5%. Добавление к органическим удобрениям $N_{56}P_{81}K_{66}$ ежегодно не оказывало существенного влияния на содержание гумуса.

Следует особо подчеркнуть высокое последствие удобрений, внесенных в 1942-1968 г.: положительное влияние на содержание гумуса сохранилось на протяжении 50 лет, превысив контрольный вариант на 0,52%.

Обобщение данных длительных полевых опытов, проведенных на черноземных почвах России позволило установить, что под влиянием минеральных удобрений содержание $C_{орг.}$, в сравнении с контролем, возрастает на 0,01-0,36%. При этом наибольшие прибавки характерны для опытов, имеющих длительность более 50 лет. Использование органоминеральной системы удобрения в опыте ВНИИСС, заложенном в 1936 г., способствовало росту органического углерода в сравнении с исходным уровнем на 0,23%, а в сравнении с контролем – на 0,93% [12].

В условиях многолетнего стационарного опыта в пахотном горизонте почвы контрольного варианта, где удобрения не вносили с 1942 г., содержание подвижных форм фосфора осталось на высоком (> 200 мг/кг почвы), а обменного калия на очень низком (< 150 мг/кг) уровне.

Длительное систематическое внесение фосфорных удобрений в составе органической и органоминеральной систем удобрения способствовало увеличению в 3 раза содержания подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы и поддержанию обеспеченности на высоком уровне по сравнению с контрольным вариантом в течение всей вегетации. Так, в 2017 г. до внесения удобрений обеспеченность почвы подвижным фосфором в данных вариантах опыта составила 644 и 755, а к концу вегетации – 671 и 775 мг/кг почвы соответственно, по сравнению с 229 и 267 мг/кг почвы в контрольном варианте.

В 2018 г., длительное систематическое применение органических удобрений и их сочетания с минеральными (варианты 6, 7) также способствовали увеличению содержания подвижного фосфора в пахотном горизонте почвы практически в 3 раза и поддержанию обеспеченности на высоком (>200 мг/кг) уровне по сравнению с контрольным вариантом в течение всей вегетации.

В поле 1, в 2017 г. на протяжении всей вегетации наименьшая обеспеченность обменным калием пахотного горизонта почвы отмечена в контрольном варианте и в варианте с внесением азотно-фосфорных удобрений и была на очень низком уровне – <150 мг/кг почвы. Самое высокое содержание отмечено при внесении органических и органоминеральных удобрений (варианты 6, 7) 161-163 и 213-279 мг/кг почвы соответственно. Обеспеченность пахотного горизонта почвы обменным

калием в данных вариантах находилась на низком (<200 мг/кг) и среднем (200-300 мг/кг) уровнях.

В поле 2, в 2018 г., на протяжении всего вегетационного периода обеспеченность пахотного горизонта почвы обменным калием во всех вариантах опыта находилась на очень низком (<150 мг/кг) и низком (<200 мг/кг) уровнях. Самое высокое содержание калия было в вариантах с ежегодным применением органических удобрений и их сочетания с минеральными (вариант 6, 7).

В результате применения минеральных удобрений величина pH солевой вытяжки не претерпела значительных изменений (табл. 2).

2. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства почвы, 1-е поле (2017 г.)

№ вариан- та опыта	рН _{сол.}		Гидролитическая кислотность		Сумма поглощен- ных оснований	
			мг-экв/100 г почвы			
	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см	0-20 см	20-40 см
1	7,15	7,09	1,44	1,62	28,5	27,2
2	7,06	7,05	1,75	1,79	27,1	28,6
3	7,08	7,17	1,66	1,36	29,0	27,1
4	7,15	7,19	1,44	1,31	27,4	28,7
5	7,11	7,19	1,57	1,31	25,1	28,6
6	7,35	7,43	0,92	0,79	31,9	32,6
7	7,25	7,34	1,16	0,96	30,7	30,4
8	7,29	7,26	1,05	1,14	26,7	28,6
9	6,98	6,99	2,06	2,01	25,9	27,7
НСР ₀₅	0,22	0,24	0,21	0,19	1,9	1,7

Использование органической и органоминеральной систем удобрения привело к подщелачиванию почвенного раствора. При этом величина pH солевой вытяжки, как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах почвы, изменилась от нейтральной (pH 7,0) до слабощелочной (pH 7,35-7,43). Этот процесс можно считать отрицательным, так как для большинства овощных культур оптимальной является слабокислая среда почвенного раствора.

Длительное применение органических удобрений, как в чистом виде, так и в сочетании с минеральными, привело к уменьшению гидролитической кислотности пахотного и подпахотного слоев почвы на 0,28-0,93 мг-экв/100 г почвы.

Сумма поглощенных оснований при использовании минеральных удобрений существенно не изменялась, а ежегодное применение органических удобрений способствовало её росту – на 3,4-5,4 мг-экв/100 г почвы.

Длительное применение как минеральных, так и органических удобрений в разных дозах и сочетаниях положительно сказывается на урожайности огурца. В условиях 14-й ротации (2017-2018 г.) урожайность огурца на неудобренном варианте составила 16,0 т/га. Во всех вариантах опыта получена прибавка общей урожайности от 0,4 до 5,1 т/га. При этом в варианте с ежегодным внесением азотно-калийных удобрений прибавка урожайности (0,4 т/га) имеет форму тенденции. Наибольший прирост урожайности получен при использовании фосфорно-калийной системы удобрения и полного минерального питания в полуторной дозе (31,9-39,4% к контролю).

В условиях 14-й ротации в плодах огурца по содержанию сухого вещества существенных различий в сравнении с контролем не выявлено. Ежегодное внесение под огурец минеральных и органических удобрений в различных дозах и сочетаниях способствует на-

коплению витамина С в плодах. Содержание его во всех вариантах опыта было выше, чем в контрольном варианте (10,1 мг/100) на 1,5-2,0 мг/100 г и составило 10,69-12,09 мг%. Наибольшее содержание витамина С отмечено в варианте с использованием органоминеральной и азотно-калийной систем – 12,1-11,9 мг/100 г.

Внесение минеральных и органических удобрений в различных дозах и сочетаниях положительно влияет на накопление общего сахара в плодах огурца. Содержание общего сахара варьировало от 1,98 до 2,27%. Наибольшее содержание отмечено в варианте с последствием ранее внесенных удобрений. Содержание нитратов в плодах огурца практически во всех вариантах опыта не превышало ПДК (150 мг/кг) и колебалось от 39 до 149 мг/кг сырой массы. Наибольшее содержание нитратов было в варианте с использованием органоминеральной системы удобрения.

В 15-й ротации (2018-2019 г.) на опытном поле выращивали томат. В среднем за ротацию отмечено повышение урожайности во всех вариантах опыта, кроме варианта с ежегодным внесением органических удобрений. Наибольшая урожайность томата получена при использовании полуторной дозы минеральных удобрений и составила 22,5 т/га, что на 24,4% выше, чем в контрольном варианте.

По содержанию сухого вещества и сахара в плодах томата в 15-й ротации существенного различия в вариантах опыта не отмечено. Содержание сухого вещества составило в среднем 5,7-6,6%, а сахара – 2,55-3,05 %. Наибольшее накопление сахаров отмечено в контрольном варианте и в варианте с ежегодным внесением азота и калия.

В среднем за ротацию наибольшее количество витамина С в плодах томата было характерно для контрольного варианта – 25,2 мг/100 г. Под влиянием всех изучаемых систем удобрения происходило его снижение, причем максимальное – при ежегодном использовании органических удобрений. Применение органических и минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях существенного влияния на кислотность плодов томата не оказывает. В 2018-2019 г. содержание нитратов в плодах томата не превышало ПДК (150 мг/кг) и составило всего 7-28 мг/кг.

Заключение. Длительное, в течение 75 лет, экстенсивное использование чернозема выщелоченного в интенсивном овощном севообороте приводит к существенному снижению содержания гумуса – на 1,32% в пахотном слое. Применение минеральных удобрений в парных сочетаниях (РК, NP, NK) и в виде полного минерального удобрения в одинарной дозе (NPK) не ока-

зывало существенного влияния на содержание гумуса. Систематическое применение органических удобрений из расчета 32 т/га севооборотной пашни способствовало росту содержания гумуса на 0,98 % к контролю, но не обеспечило его поддержание на исходном уровне. Длительное систематическое применение различных доз органических и минеральных удобрений создает запас подвижных форм фосфора и калия в почве, при этом наибольшее положительное влияние характерно для органоминеральной системы удобрения. Наибольший прирост урожайности огурца и томата – 31,9 и 24,4 % соответственно получен при использовании полного минерального удобрения в полуторной дозе. Изучаемые системы удобрения не оказывают существенного влияния на биохимический состав плодов огурца и томата.

Литература

1. Борисов В.А. Система удобрения овощных культур. – М.: Росинформагротех, 2016. – 392 с.
2. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 325 с.
3. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13.
4. Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A. Soil health and sustainability // Adv. Agron. 1996, № 56. P. 1–54.
5. Blair N., Faulkner R.D., Till A.R., Korschens M., Schulz E. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part II: Bad Lauchstadt static and extreme FYM experiments. Soil Till. Res. // 2006. №91. P. 39–47.
6. Powelson D.S., Bhogal A., Chambers B.J., Coleman K., Macdonald A.J., et al. The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: A case study // Agric. Ecosyst. Environ. 2012. №146, P. 23–33.
7. Назарук В.М., Калимуллина Ф.Р. Продуктивность растений и баланс углерода в агроэкосистемах при использовании минеральных удобрений и растительных остатков // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 4. – С. 9-14
8. Сычев В.Г., Налиухин А.Н., Шевцова Л.К., Рухович О.В., Беличенко М.В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России // Почвоведение. – 2020. – № 12. – С. 1521-1536.
9. Шустикова, Е. П. Изменение калийного режима чернозема обыкновенного под влиянием систематического внесения минеральных удобрений / Е. П. Шустикова, Н. Н. Шаповалова // Агрохимический вестник. – 2012. – № 2. – С. 5–7.
10. Уваров Г.И. Изменение агрохимических свойств чернозема типичного при применении удобрений в длительном полевом опыте / Уваров Г.И., Карабутов А.П. // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 14-20.
11. Минакова О.А. Трансформация гумусного состояния чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений / О.А. Минакова, А.И. Громовик // Сахарная свекла. – 2008. – № 9. – С. 19-20.
12. Мельникова, М.Г. Влияние длительного применения удобрений на динамику подвижных форм фосфора и калия чернозема выщелоченного / М. Г. Мельникова, О. А. Минакова // Плодородие. – 2013. – № 2. – С. 5–7.
13. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. и др. Практикум по агрохимии. – М.: МГУ, 2001. – 689 с.

THE INFLUENCE OF LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZERS ON THE FERTILITY OF LEACHED CHERNOZEM, YIELD AND QUALITY OF VEGETABLE CROPS

V.F. Pivovarov¹, S.M. Nadezhkin¹, E.V. Voronkin², A.V. Soldatenko¹

¹ Federal Scientific Vegetable Center, Selekcionnaya ul. 14, 143072 VNISSOK settl., Russia;

² West Siberian Vegetable Experimental Station – branch of Federal State Vegetable Center, Opytnaya stanciya ul. 22, 656904 Barnaul, Russia

The nature of the influence of long-term use of various combinations of mineral and organic fertilizers on the fertility of leached chernozem and the productivity of vegetable crops is considered according to the results of studies in a stationary field experiment. It is shown that the extensive use of soil in vegetable crop rotation leads to a significant decrease in the humus content – by 1.32% in the arable layer. The use of mineral fertilizers in paired combinations and in the form of a complete mineral fertilizer does not have a significant effect on the humus content. The systematic use of organic fertilizers leads to an increase in the humus content by 0.98% compared to the control, but does not ensure its maintenance at the initial level. The greatest increase in the yield of cucumber and tomato was obtained with the use of a full mineral fertilizer in one and a half rate.

Key words: fertilizers, humus, fertility, productivity, phosphorus, potassium, cucumber, tomato.