

УДК 631.415.1:631.445.41:631.8

ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИИ СРЕДЫ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

© 2021 г. Ю. И. Чевердин¹, *, И. Ф. Поротиков¹

¹ Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева
Каменная Степь 397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка института им. Докучаева,
кварт. 5, 81, Россия

*E-mail: cheverdin62@mail.ru

Поступила в редакцию 02.02.2021 г.

После доработки 01.03.2021 г.

Принята к публикации 11.05.2021 г.

В микровегетационном полевом опыте исследовали изменения кислотности чернозема под влиянием возрастающих доз минеральных удобрений. Были использованы азотное удобрение (N) и полная доза NPK. При закладке опытов дозы удобрений варьировали в широком диапазоне — от 30 до 30000 кг д.в./га. При применении полного минерального удобрения, включавшего аммиачную селитру, суперфосфат двойной гранулированный и хлористый калий крупнозернистый, рН_{KCl} наиболее заметно начинал снижаться с дозы N300P300K300 — с 5.19 до 4.99 ед. рН. При максимальной дозе 30000 кг/га рН_{KCl} был равен 4.87. Не установлено связи реакции среды с продуктивностью культур. Отмечено угнетающее действие азотных удобрений с дозы N6000, полный выпад растений при дозе N30000. При применении NPK снижение продуктивности проявлялось при дозе 3000 и больше. Полный выпад растений отмечен при дозе N1200P1200K1200.

Ключевые слова: черноземы, удобрения, дозы удобрений, кислотность почвы, продуктивность, ячмень.

DOI: 10.31857/S0002188121080068

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изучения кислотности черноземов и регулирования реакции среды в ЦЧО имеет давнюю историю. Опытные и практические работы по известкованию почв в ЦЧП проводили преимущественно в связи с возделыванием сахарной свеклы [1–3]. В качестве известкового материала чаще всего применяли дефекат, который давал некоторый эффект. Полевые опыты закладывали в большинстве случаев на слабокислых и близких к нейтральным почвам [4, 5].

В большинстве источников эффективность известкования черноземных почв признана доказанной [6]. В связи с этим в конце 1970–начале 1980 гг. в ЦЧП начали проводить полевые опыты с целью разработки нормативов расхода известковых материалов для нейтрализации черноземных почв. В разное время были подготовлены рекомендации по известкованию кислых почв [7, 8].

В научных кругах было довольно широко распространено мнение об увеличении площадей кислых почв в ЦЧП, прежде всего в результате применения минеральных удобрений. Однако фиксируемый прирост площадей кислых почв

нельзя объяснить, опираясь на результаты длительных стационарных опытов. В ряде случаев при применении минеральных удобрений отмечали увеличение показателя рН [9].

В почвах большинства областей Центрального Черноземья, в последние годы наблюдали тренд снижения кислотности и смещения реакции среды в щелочную сторону [10]. В Белгородской обл., по данным агрохимслужбы, характерно снижение доли кислых почв. Причем в зоне распространения черноземов обыкновенных наметилась четкая тенденция к подщелачиванию [11], хотя для степной зоны ЦЧО подкисление почв не характерно [12, 13]. В Воронежской обл. удельный вес кислых почв в настоящее время для пашни составляет 27%. Пахотных черноземов, имеющих рН 5.5 и менее, насчитывается 649.4 тыс. га. Значительная доля (510.6 тыс. га) приходится на слабокислые подтипы [13].

Одним из основных антропогенных факторов, способствующих изменению реакции среды в различных типах почв, являются минеральные удобрения [14–17]. Поэтому их применение в технологиях возделывания культур и сопутствующее этому увеличение кислотности почв имеет отри-

Таблица 1. Физико-химические свойства почвы, использованной в микровегетационных опытах

Обменные				Сумма оснований	H_r	Сумма катионов	рН	
Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+				KCl	H_2O
мг-экв/100 г почвы							ед. рН	
% от суммы поглощенных катионов								
24.7	4.9	0.5	—	30.1	5.9	36.0	5.25	5.80
68.6	13.6	1.4		83.6	16.4	100		

цательные последствия для продуктивности сельскохозяйственных культур [18–20].

В то же время минеральные удобрения увеличивают урожайность возделываемых культур [21], и не существует однозначного мнения об изменении кислотности черноземов под их влиянием [16, 17, 22, 23]. Смещение кислотности черноземов в ту или иную сторону определяется видом минеральных удобрений [24].

Цель работы – изучение влияния возрастающих доз NPK на сдвиг реакции почвенной среды черноземов и продуктивность растений ячменя.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыт с полным минеральным удобрением, включающим все три элемента (NPK) был заложен в микрососудах. Навеска абсолютно сухой почвы – 200 г/сосуд, повторность пятикратная. Предельная полевая влагоемкость (ППВ) почвы – 48.1%. Первоначальное увлажнение – до 0.7 ППВ ($48.1 \times 0.7 = 33.7\%$). Гигровлагу, составлявшую 7%, из норм увлажнения исключали ($33.7 - 7.0 = 26.7\%$). Норма увлажнения для микрососудов – 50 мл ($200 \times 0.267 = 53.4$ г). Полив проводили дистиллированной водой.

В процессе проведения опыта показатель pH_{KCl} определяли потенциометрическим методом. Навеску почвы 20 г заливали 1 н. раствором хлористого калия в объеме 50 мл. На 20 г почвы с раствором вносили 3.75 г хлористого калия, что составляло 18.8% к массе анализируемого образца.

Дозы удобрений условно для наглядности пересчитали на 1 га земельных угодий. Для расчета масса слоя 0–20 см почвы принята равной 2000 т или 2000000 кг/га. Доза действующего вещества (д.в.) удобрения, равная 1 кг/га, соответствовала 0.0005 г/кг абсолютно сухой почвы. Дозы удобрений в пересчете на полевые условия в микровегетационных опытах менялись от 30 до 30000 кг/га. Если дозу 60 кг д.в./га принять за оптимальную, то доза, равная 30000 кг/га, соответствовала затратам удобрений в течение 500 лет.

Для наполнения микрососудов была использована почва, отобранная на микрозападине старопахотного участка. Почва отличалась довольно значительной величиной гидролитической кислотности – 5.88 мг-экв/100 г почвы, pH_{KCl} 5.25, pH_{H_2O} 5.80 ед. Насыщенность основаниями – 83.6. Доля обменного кальция составляла 68.6% от суммы поглощенных катионов, равной 36.0 мг-экв/100 г почвы (табл. 1).

Почва специально была подобрана менее насыщенная основаниями. Исходили из предположения, что если в этой почве большие дозы удобрений не будут вызывать существенного сдвига физико-химических свойств, то тем более нельзя будет ожидать этого в почвах, насыщенных основаниями. По гранулометрическому составу почва представляла собой тяжелый пылеватый суглинок.

Примененные в опыте удобрения существенно отличались реакцией среды их водной суспензии, нейтрализующей способностью, содержанием кальция и магния в пересчете на их карбонатные формы (табл. 2). Наиболее высокая нейтрализующая способность оказалась характерной для углекислого аммония – 59.0%, отличающегося высокой щелочностью. Однако мочевины, отличающаяся также высокой щелочностью, имела незначительную нейтрализующую способность: 4.0% – удобрения и 11.5% – реактив.

Посев растений первоначально не предусматривали. Решение о посеве было принято в процессе работы. Посев проведен 10.09.2019 г. проросшими семенами ячменя. В микрососуде располагали 15 шт. семян. Всходы появились на следующий день. Кушение – 28.09.2019 г., уборка – в фазе трубкавания 26.10.2019 г.

В опыте “Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на реакцию почвенной среды и продуктивность растений” изучили влияние возрастающих доз NPK на сдвиг реакции почвенной среды и продуктивность растений. Удобрения вносили в форме N_{aa} (N – 35%, рН 6.6), $P_{сд}$ (P_2O_5 – 43%, рН 2.6), K_x крупнозернистого бурого (K_2O – 57.6% по документам, по на-

Таблица 2. Кислотность и нейтрализующая способность минеральных удобрений

Удобрение	pH _{H₂O} , ед.	Нейтрализующая способность, % CaCO ₃	Ca, % CaCO ₃	Mg, % MgCO ₃
Аммиачная селитра (N _{aa})	6.60	1.52	1.26	—
Мочевина (N _M)	9.10	4.0	1.25	—
Сульфат аммония (N _a)	5.73	1.5	1.25	—
Суперфосфат двойной гранулированный (P _{сдг})	2.60	15.2	20.6	48.9
NH ₃ + H ₂ O (N _{ва})	10.9	3.0	1.25	1.25
Хлористый калий мелко-зернистый розовый (K _х)	7.2	5.0	6.25	—

Таблица 3. Показатели pH_{KCl} в микровегетационном опыте при применении возрастающих доз полных минеральных удобрений

Вариант	pH _{KCl}	Вариант	pH _{KCl}
Без удобрений	5.19 ± 0.04	N1200P1200K1200	4.93 ± 0.02
N30P30K30	5.16 ± 0.02	NP1800P1800K1800	4.87 ± 0.01
N60P60K60	5.18 ± 0.02	N3000P3000K3000	4.96 ± 0.08
N90P90K90	5.17 ± 0.02	N6000P6000K6000	5.08 ± 0.08
N120P120K120	5.21 ± 0.02	N12000P12000K12000	5.08 ± 0.06
N150P150K150	5.20 ± 0.02	N18000P18000K18000	4.94 ± 0.03
N180P180K180	5.18 ± 0.02	N30000P30000K30000	4.86 ± 0.07
N210P210K210	5.15 ± 0.04	N6000P6000K6000 + CaCO ₃ 8 т/га	5.84 ± 0.20
N240P240K240	5.16 ± 0.01	N6000P6000K6000 + промывка	4.84 ± 0.05
N300P300K300	4.99 ± 0.04	N240P240K240 без растений	4.84 ± 0.03
N600P600K600	4.95 ± 0.02		

шим определениям — 59.0%, pH 7.5). Промывку почвы осуществляли дистиллированной водой в количестве 1 л/200 г абсолютно сухой почвы, порциями по 100 мл воды 10 раз. Варианты опыта, дозы удобрений в действующем веществе представлены в табл. 3.

Опыт “Изменение реакции среды под влиянием промывок на фоне применения минеральных удобрений и извести” был заложен в дополнение к предыдущему с целью расширить представления о влиянии промывки на реакцию среды. В опыт, наряду с применением только минеральных удобрений, были включены варианты, в которых удобрение сочеталось с известью, контроль — почва без удобрений и извести. Уровень плодородности был равен N6000P6000K6000. Промывку осуществляли 5 раз (по 200 мл дистиллированной воды на 200 г почвы в пересчете на абсолютно сухую).

В опыте “Влияние различных форм и доз азотных удобрений на изменение реакции почвенной

среды и продуктивность растений” было испытано несколько форм и доз азотных удобрений. Наибольшее количество вариантов отвели удобрению в форме N_{aa}, минимальная доза — N30, максимальная — N30000 в условном пересчете на 1 га.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование изменения реакции среды показало заметное увеличение кислотности при дозах минеральных удобрений, превышающих N300P300K300 (табл. 4). При небольших дозах, близких к рекомендуемым под основные сельскохозяйственные культуры, величины pH_{KCl} были близки к контролю. Заметный сдвиг pH_{KCl} в кислую сторону наиболее отчетливо отмечен с дозы N300P300K300. При этой дозе NPK pH_{KCl} был равен 4.99 ± 0.04 ед., в контроле — 5.19 ± 0.04 ед. Сдвиг pH_{KCl} с возрастанием дозы NPK больше N300P300K300 был не стабильным и варьировал в

Таблица 4. Изменение величины pH_{H_2O} в микроvegetационном опыте при применении возрастающих доз минеральных удобрений

Вариант	pH_{H_2O}	Вариант	pH_{H_2O}
Без удобрений	5.81 ± 0.13	N1200P1200K1200	5.46 ± 0.04
N30P30K30	5.86 ± 0.07	NP1800P1800K1800	5.34 ± 0.01
N60P60K60	5.91 ± 0.08	N3000P3000K3000	5.27 ± 0.10
N90P90K90	5.90 ± 0.06	N6000P6000K6000	5.38 ± 0.04
N120P120K120	5.99 ± 0.06	N12000P12000K12000	5.28 ± 0.08
N150P150K150	5.92 ± 0.08	N18000P18000K18000	5.04 ± 0.03
N180P180K180	5.90 ± 0.04	N30000P30000K30000	4.91 ± 0.06
N210P210K210	5.81 ± 0.11	N6000P6000K6000 + CaCO ₃ 8 т/га	6.09 ± 0.24
N240P240K240	5.86 ± 0.10	N6000P6000K6000 + промывка	5.61 ± 0.11
N300P300K300	5.61 ± 0.23	N240P240K240 без растений	5.34 ± 0.06
N600P600K600	5.63 ± 0.07		

интервале 4.87–5.08 ед. При максимальной дозе N30000P30000K30000 pH_{KCl} был равен 4.86 ± 0.07 .

Увеличение кислотности почвы было связано с физиологической кислотностью примененных удобрений. Наибольший сдвиг pH в кислую сторону отмечен при применении P_{cd} и существенно меньший – при внесении N_{aa} и K_x .

В варианте с внесением дозы N6000P6000K6000 дополнительно был внесен карбонат кальция для стабилизации катионного состава, а также использован прием промывки почвы дистиллированной водой (табл. 5). Внесение карбоната кальция вызвало увеличение pH_{KCl} до 5.84 ± 0.20 ед. при pH_{KCl} 5.08 ± 0.08 в варианте N6000P6000K6000 без извести. Прирост составил 0.76 ед. Промывка приводила к выщелачиванию двухвалентных катионов, снижению степени насыщенности и в конечном итоге подкислению почвы. Величина pH_{KCl} в этом случае составила 4.84 ± 0.05 , при той же дозе без промывки – 5.08 ± 0.08 . Сдвиг pH_{KCl} при промывке в кислую сторону был равен 0.24 ед. Существенные различия в кислотности были отмечены в зависимости от влияния корневых выделений на почвенную среду. В микрососудах без растений почва была более кислой. При дозе N240P240K240 без растений pH_{KCl} был равен 4.84 ± 0.03 , с растениями – 5.16 ± 0.01 . Существующее мнение о возможности подкисления почв углекислым газом, являющимся одним из продуктов корневого дыхания растений, не нашло подтверждения в нашем исследовании. В варианте без растений почва оказалась более кислой на 0.32 ед.

Характер изменения pH_{H_2O} несколько различался от показателя pH_{KCl} . С увеличением дозы

минеральных удобрений до N120P120K120 он повысился до 5.99 ± 0.06 (контроль – 5.81 ± 0.13), затем по мере увеличения дозы постепенно понижался до 5.81 ± 0.11 (при дозе N120P120K210). Сдвиг в кислую сторону был более заметным, начиная с дозы N300P300K300 (pH_{H_2O} 5.61 ± 0.23). При максимальной дозе удобрений N30000P30000K30000 величина pH_{H_2O} была наиболее низкой – 4.91 ± 0.06 ед. На фоне известкования pH_{H_2O} был равен 6.09 ± 0.24 . При том же уровне удобренности (N6000P6000K6000) без известкования pH_{H_2O} был равен 5.38 ± 0.05 . Сдвиг показателя при применении извести в щелочную сторону был равен 0.71 ед. В почве без растений при дозе N240P240K240 $pH_{H_2O} = 5.34 \pm 0.06$, в том же варианте с растениями – 5.86 ± 0.10 , сдвиг был равен 0.52 ед.

В варианте N6000P6000K6000 в сочетании с промывкой проведено определение реакции среды в процессе промывки. В реакции почвенной среды отчетливых закономерных изменений в процессе промывки не прослежено. Реакция фильтрата в процессе промывки сдвигалась в кислую сторону с 6.4 до 5.7 ед. В процессе промывки фильтрат мутнел и становился более окрашенным.

Закономерность изменения продуктивности растений ячменя в фазе трубкования показана в табл. 6. Для воздушно-сухого вещества она проявлялась более отчетливо. Продуктивность растений возрастала до уровня удобренности N1800P1800K1800 – до 2.44 г/сосуд, почти до такого же уровня при дозе N3000P3000K3000 – 2.39 г/сосуд. Резкое снижение продуктивности наблюдали при дозе N6000P6000K6000 – до

Таблица 5. Изменение реакции неудобренной и удобренной почвы в процессе ее промывки

Вариант	Дата промывки				
	01–04.10	02–08.10	03–10.10	04–11.10	05–12.10
	pH _{H₂O}				
Контроль без удобрений + + промывка	6.80 ± 0.24	6.76 ± 0.17	6.76 ± 0.17	6.80 ± 0.14	6.84 ± 0.09
N6000P6000K6000 + промывка	6.64 ± 0.09	6.68 ± 0.11	6.68 ± 0.11	6.56 ± 0.17	6.80 ± 0.2
N6000P6000K6000 кг/га + + CaCO ₃ 8 т/га + промывка	6.72 ± 0.11	6.64 ± 0.09	6.64 ± 0.09	6.48 ± 0.11	6.60 ± 0
				pH _{KCl}	
Контроль без удобрений + + промывка	6.04 ± 0.38	6.16 ± 0.43	6.04 ± 0.09	5.72 ± 0.27	6.04 ± 0.09
N6000P6000K6000 кг/га + + промывка	6.32 ± 0.3	6.04 ± 0.09	6.04 ± 0.09	5.88 ± 0.11	6.08 ± 0.11
N6000P6000K6000 кг/га + + CaCO ₃ 8 т/га + промывка	6.08 ± 0.11	6.08 ± 0.11	6.00 ± 0	5.84 ± 0.22	6.08 ± 0.11

Таблица 6. Продуктивность ячменя в микровегетационном опыте при применении возрастающих доз минеральных удобрений

Вариант	г/сосуд (200 г абсолютно сухой почвы)	Вариант	г/сосуд (200 г абсолютно сухой почвы)
Сырое вещество			
Без удобрений	2.62 ± 0.57	N600P600K600	4.66 ± 0.83
N30P30K30	2.58 ± 0.22	N1200P1200K1200	6.64 ± 0.18
N60P60K60	2.64 ± 0.44	N1800P1800K1800	7.16 ± 0.72
N90P90K90	4.36 ± 2.07	N3000P3000K3000	8.76 ± 0.72
N120P120K120	3.68 ± 0.54	N6000P6000K6000	2.18 ± 2.09
N150P150K150	2.84 ± 0.42	N12000P12000K12000	0
N180P180K180	3.56 ± 0.71	N18000P18000K18000	0
N210P210K210	5.80 ± 3.22	N30000P30000K30000	0
N240P240K240	3.96 ± 0.43	N6000P6000K6000 + CaCO ₃ 8 т/га	3.06 ± 1.21
N300P300K300	4.00 ± 0.61	N6000P6000K6000 + промывка	5.56 ± 1.28
Сухое вещество			
Без удобрений	1.00 ± 0.07	N600P600K600	1.94 ± 0.13
N30P30K30	1.24 ± 0.13	N1200P1200K1200	2.02 ± 0.23
N60P60K60	1.30 ± 0.1	N1800P1800K1800	2.44 ± 0.13
N90P90K90	1.40 ± 0.12	N3000P3000K3000	2.39 ± 0.16
N120P120K120	1.44 ± 0.09	N6000P6000K6000	0.58 ± 0.55
N150P150K150	1.38 ± 0.11	N12000P12000K12000	0
N180P180K180	1.54 ± 0.09	N18000P18000K18000	0
N210P210K210	1.56 ± 0.26	N30000P30000K30000	0
N240P240K240	1.60 ± 0.21	N6000P6000K6000 + CaCO ₃ 8 т/га	1.16 ± 0.32
N300P300K300	1.62 ± 0.13	N6000P6000K6000 + промывка	1.66 ± 0.09

Таблица 7. Изменение кислотности удобренной и не-удобренной почвы после ее промывания

Вариант	pH _{H₂O}	pH _{KCl}
17.12.2019 г.		
Контроль без удобрений + + промывка	5.91 ± 0.11	5.15 ± 0.09
N6000P6000K6000 + + промывка	5.03 ± 0.13	4.50 ± 0.02
N6000P6000K6000 + + CaCO ₃ 8 т/га + промывка	5.05 ± 0.05	4.50 ± 0.08
05.01.2020 г.		
Контроль без удобрений + + промывка	5.61 ± 0.13	4.92 ± 0.03
N6000P6000K6000 + + промывка	5.06 ± 0.03	4.44 ± 0.06
N6000P6000K6000 + + CaCO ₃ 8 т/га + промывка	5.11 ± 0.06	4.47 ± 0.04

0.58 г/сосуд. При более высоких дозах удобрений (12000, 18000 и 30000 д.в.) растения в сосудах погибли. Внесение извести при дозе N6000P6000K6000 повысило продуктивность растений до 1.16 г/сосуд. При этой же дозе удобрений промывка дала лучшие результаты — 1.66 г/сосуд.

Продуктивность растений ячменя стабилизировалась в интервале удобренности почвы 0.6227–1.0377% (N1800P1800K1800–N3000P3000K3000). Угнетение растений отмечено в интервале удобренности 1.0377–2.0756% (N3000P3000K3000–N6000P6000K6000). При более высоком уровне удобренности растения в сосудах погибли.

По окончании промывок и уборки растений, после того, как почва подсохла, определили реакцию почвенной среды потенциометрическим методом. Первый раз анализ проведен 17.12.2019 г., второй — 05.01.2020 г. (табл. 7). Показано, что под влиянием удобрений произошел существенный сдвиг реакции почвенной среды. Величина pH_{KCl} уменьшилась по отношению к контролю на 0.65 ед.

в первый срок наблюдения и на 0.48 и 0.45 ед. — во второй срок. Почва из слабокислой перешла в средне- и сильнокислую.

Что же касается реакции фильтрата, то в контроле она оставалась практически неизменной, а в вариантах применения удобрений в чистом виде и с известью pH повышался от начала промывки к ее концу с (4.96 ± 0.09)–(4.8 ± 0.04) до (6.24 ± 0.17)–(6.28 ± 0.11) (табл. 8). В предшествующем опыте отмечена закономерность противоположного характера (табл. 7). Отмеченные различия кислотности почвы и фильтрата между данным и предшествующим опытом возможно объясняются тем, что первый опыт имел большую продолжительность по времени.

В фильтрате из удобренной почвы резко (в 7 раз) возрастала концентрация минеральных веществ по сравнению с контролем. Величина сухого остатка при сочетании внесения удобрений и извести была незначительно меньше, чем без извести: соответственно 1200 и 1123 мг/л. Суммарное содержание солей различалось менее существенно, но с противоположной тенденцией: соответственно 1150 и 1170 мг/л. В связи с окраской фильтрата в вариантах применения удобрений не удалось определить общую щелочность и содержание хлора. Концентрация сернокислого остатка на удобренном фоне возросла относительно контроля, но не в такой мере, как это было отмечено для других элементов. Количество нитратов было невысоким: при применении NPK — 10.7, NPK + известь — 11.6, в контроле — 3.55 мг/л. По величине концентрации катионов при применении удобрений они составили следующий ряд: Ca > K > Mg > Na. Количественно этот ряд был выражен следующими величинами (мг-экв/л): вариант N6000P6000K6000 — 30.4, 5.7, 3.6, 2.2, вариант N6000P6000K6000 + известь — 31.0, 5.8, 4.3, 2.1 соответственно. В контроле была выявлена иная последовательность: Ca > Mg > Na > K, или 1.1, 0.4, 0.15, 0.07 мг-экв/л. По отношению к исходной почве (контроль) наиболее резко повыси-

Таблица 8. Реакция фильтрата после промывки почвы

Вариант	Дата промывки				
	01–4.10	02–8.10	03–10.10	04–11.10	05–15.10
Контроль без удобрений + + промывка	6.72 ± 0.11	6.80 ± 0.02	6.64 ± 0.09	6.72 ± 0.11	6.68 ± 0.11
N6000P6000K6000 кг/га + + промывка	4.96 ± 0.09	5.40 ± 0.03	5.84 ± 0.09	6.08 ± 0.11	6.16 ± 0.17
N6000P6000K6000 + + CaCO ₃ 8 т/га + промывка	4.80 ± 0.04	5.56 ± 0.09	5.88 ± 0.11	6.24 ± 0.17	6.28 ± 0.11

Таблица 9. Влияние минеральных удобрений и промывки почвы на продуктивность растений ячменя, г/сосуд (200 г абсолютно-сухой почвы)

Вариант	Сырое вещество
Контроль без удобрений и промывки	2.62 ± 0.57
Без удобрений + промывка	2.26 ± 0.26
N6000P6000K6000 кг/га + промывка	6.20 ± 0.48
N6000P6000K6000 кг/га + CaCO ₃ + промывка	5.60 ± 0.91
	Воздушно-сухое вещество
Контроль без удобрений и промывки	1.00 ± 0.07
Без удобрений + промывка	0.58 ± 0.04
N6000P6000K6000 кг/га + промывка	1.10 ± 0.04
N6000P6000K6000 кг/га + CaCO ₃ + промывка	1.12 ± 0.22

лась концентрация калия – в 82 раза, затем следовали кальций – в 28, натрий – в 14, магний – в 9 раз.

При применении удобрений отмечен существенный сдвиг реакции фильтрата в кислую сторону: контроль – 6.70, вариант N6000P6000K6000 – 5/75, вариант N6000P6000K6000 + известь – 5.69 ед. рН. При известковании реакция фильтрата была даже более кислой, чем без него. Кислая реакция фильтрата сформировалась преимущественно за счет первых порций фильтрата. Реакция фильтрата в вариантах опыта после первой порции была следующей: контроль – 6.7, удобрение – 5.0, удобрение + известь – 4.8 ед. рН.

Промывка почвы приводила к снижению продуктивности ячменя с 1.0 до 0.6 г воздушно-сухого вещества г/сосуд (табл. 9). После промывки в варианте с ингибирующей дозой минеральных

удобрений N6000P6000K6000 продуктивность ячменя оказалась близкой к контролю – соответственно 1.10 ± 0.04 и 1.00 ± 0.07 г/сосуд. Внесение извести дополнительно к удобрениям не привело к повышению продуктивности растений.

В опыте “Влияние различных форм и доз азотных удобрений на изменение реакции почвенной среды и продуктивность растений” было показано, что величина рН_{H₂O} снижалась нестрого прямолинейно с 6.46 ед. в контроле до минимума 5.68 ед. в варианте N30000 (табл. 10). Показатели рН_{KCl} были в большинстве вариантов применения удобрений выше, чем в контроле. Особенно заметное повышение величины рН_{KCl} отмечено, начиная с варианта N6000, в котором рН_{KCl} был равен 5.48 ед. В вариантах N18000 и N30000 рН_{KCl} был равен соответственно 5.52 и 5.56 ед., в контроле – 5.12 ед. Отмеченный характер изменения рН_{H₂O} был обусловлен, видимо, возрастанием концентрации нитратного иона с повышением дозы удобрений. Ион же аммония оказался в значительной мере обменно-поглощенным. При воздействии хлористого калия на почву аммоний вытеснялся из почвенного поглощающего комплекса и подщелачивал среду. При высоких дозах удобрения различие в величине водного и солевого рН уменьшалось до минимума.

При применении мочевины в целом отмечена та же закономерность, что и для аммиачной селитры, но при высокой дозе мочевины (N30000) рН_{H₂O} был равен 8.77 ед, рН_{KCl} был равен 7.81, что составило разницу 0.96 ед.

Характер изменения рН с увеличением дозы других видов азотных удобрений приближался или к аммиачной селитре, или к мочеvine, в зависимости от гидролитических свойств соли.

Таблица 10. Реакция среды в микровегетационном опыте с различными формами и дозами азотных удобрений

Вариант	Селитра N _{aa}		Мочевина N _m		Сульфат аммония N _a		Аммиак N _{ва}	
	рН _{H₂O}	рН _{KCl}	рН _{H₂O}	рН _{KCl}	рН _{H₂O}	рН _{KCl}	рН _{H₂O}	рН _{KCl}
Контроль без удобрений	6.46 ± 0.22	5.12 ± 0.04						
N30	6.15 ± 0.09	5.14 ± 0.04	5.82 ± 0.20	5.16 ± 0.05	5.54 ± 0.19	5.11 ± 0.05	6.10 ± 0.07	5.31 ± 0.08
N60	6.11 ± 0.06	5.13 ± 0.03	5.80 ± 0.06	5.12 ± 0.03	5.76 ± 0.06	5.12 ± 0.02	5.94 ± 0.14	5.21 ± 0
N90	6.25 ± 0.10	5.12 ± 0.01	5.83 ± 0.03	5.13 ± 0.02	5.85 ± 0.09	5.10 ± 0.02	6.03 ± 0.20	5.17 ± 0.04
N120	6.15 ± 0.09	5.12 ± 0.02	5.88 ± 0.01	5.14 ± 0.01	5.77 ± 0.08	5.11 ± 0.01	5.98 ± 0.09	5.20 ± 0.06
N240	5.88 ± 0.07	5.27 ± 0.02	5.81 ± 0.06	5.13 ± 0.03	5.62 ± 0.03	5.04 ± 0.02	5.85 ± 0.12	5.19 ± 0.11
N600	5.74 ± 0.02	5.10 ± 0.01	5.65 ± 0.14	5.10 ± 0.05	5.46 ± 0.05	4.95 ± 0.03	5.75 ± 0.03	5.10 ± 0.04
N30000	5.68 ± 0.04	5.56 ± 0.08	8.77 ± 0.07	7.81 ± 0.05	5.55 ± 0.02	5.36 ± 0.02	8.65 ± 0.11	7.64 ± 0.05

Таблица 11. Продуктивность ячменя в микровегетационном опыте с различными формами и дозами азотных удобрений

Вариант	Аммиачная селитра		Мочевина		Сульфат аммония		Аммиак	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль без удобрений	3.33 ± 0.38	0.93 ± 0.06						
N30	3.53 ± 0.12	1.10 ± 0.10	3.27 ± 0.49	1.13 ± 0.06	2.57 ± 0.06	1.10 ± 0.17	3.63 ± 0.90	1.07 ± 0.15
N60	3.83 ± 0.40	1.10 ± 0.05	3.90 ± 0.56	1.20 ± 0.05	2.47 ± 0.47	1.03 ± 0.06	3.63 ± 0.21	1.23 ± 0.15
N90	3.37 ± 0.47	1.13 ± 0.06	4.10 ± 0.36	1.13 ± 0.12	3.00 ± 1.01	1.20 ± 0.10	4.40 ± 0.44	1.43 ± 0.23
N120	3.43 ± 0.29	1.13 ± 0.06	4.13 ± 0.06	1.33 ± 0.06	2.00 ± 0.10	1.20 ± 0	3.40 ± 1.41	1.10 ± 0.26
N240	4.07 ± 1.27	1.17 ± 0.06	4.03 ± 0.29	1.27 ± 0.06	2.60 ± 0.40	1.23 ± 0.06	2.73 ± 1.66	0.93 ± 0.38
N600	3.87 ± 0.32	1.30 ± 0	4.67 ± 0.21	1.20 ± 0	2.87 ± 0.86	1.17 ± 0.35	3.93 ± 0.55	1.10 ± 0.10
N30000	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0

Примечание. В графе 1 – сырое вещество, 2 – воздушно-сухое сесество.

По величине pH_{KCl} при максимальной дозе азота N30000 испытанные удобрения составили ряд: мочевина – pH 7.78, мочевина (реактив) – 7.78, аммиак водный (реактив) – 7.64, углекислый аммоний (реактив) – 5.98, азотнокислый натрий (реактив) – 5.68, NH_4NO_3 (реактив) – 5.66, аммиачная селитра – 5.56, сульфат аммония и азотнокислый калий – 5.36, хлористый аммоний – 5.23, азотнокислый кальций – 5.21 ед. pH . В контроле без удобрений величина pH была равна 5.12 ед.

Влияние этих веществ на величину pH_{H_2O} был несколько иной: мочевина – 8.77, мочевина (реактив) – 8.75, аммиак – 8.65, азотнокислый натрий – 5.92, углекислый аммоний (реактив) – 5.91, NH_4NO_3 (реактив) – 5.82, аммиачная селитра – 5.65, сульфат аммония – 5.55, азотнокислый калий – 5.49, азотнокислый кальций – 5.32, хлористый аммоний – 5.29, в контроле – 6.46 ед. pH .

Таким образом, при максимальной дозе азота (N30000) pH_{KCl} во всех вариантах был выше, чем в контроле. По величине pH_{H_2O} это было отмечено только на фоне применения мочевины и аммиака, при внесении других азотсодержащих веществ показатель pH_{H_2O} был ниже, чем в контроле.

Растения ячменя по-разному реагировали на форму и дозу азотного удобрения (табл. 11).

В вариантах применения различным форм азотного удобрения максимальная продуктивность растений была отмечена при следующих дозах азота: аммиачная селитра ($N_{aa}600$) – 1.3, мочевина (удобрение) (N_m240) – 1.3, сульфат аммония ($N_a120-240-600$) – 1.2, хлористый аммоний (N_x240) – 1.4, аммиак ($N_{ba}90$) – 1.4, азотнокислый кальций ($N_{ckl}600$) – 1.4, азотнокислый калий

($N_{ck}240$) – 1.4, азотнокислый натрий (N_c120) – 1.3, углекислый аммоний ($N_y120-240$) – 1.1 г/сосуд.

В наибольшем количестве вариантов удобрения были испытаны дозы аммиачной селитры. По величине воздушно-сухого вещества варианты с дозами азота не имели существенных различий в широком интервале от N30 до N600 включительно. Заметное снижение продуктивности растений наблюдали, начиная с варианта N6000, более существенное – при дозе N18000. Полная гибель растений ячменя происходила при максимальной дозе N30000.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдения за состоянием кислотности чернозема показали, что реакция среды находилась в динамическом равновесии с изменяющимися природными и технологическими факторами. Отмеченный по результатам агрохимического обследования прирост распространения кислых почв был следствием суммирования выявляемых ежегодно новых площадей и не связан с факторами хозяйственной деятельности.

В качестве основного фактора, обуславливающего подкисление почвы, принято считать применение минеральных удобрений. Однако такое однозначное представление не подтверждено результатами более чем 20-летних наблюдений в стационарных полевых опытах с систематическим внесением минеральных удобрений.

Испытание в микровегетационных опытах возрастающих с 30 до 30000 кг/га доз различных удобрений показало, что реакция среды при этом изменялась в зависимости от свойств примененного вещества.

При максимальной дозе азота величина pH_{KCl} изменялась в зависимости от формы удобрения в интервале от 5.21 (азотнокислый кальций) до 7.78 ед. (мочевина) при pH_{KCl} в контроле без удобрений, равном 5.12 ед. Во всех случаях величина pH_{KCl} была выше, чем в контрольном варианте.

Величина pH_{H_2O} изменялась от 5.29 (хлористый аммоний) до 8.77 (мочевина), в контроле — 6.36 ед., показатель pH_{H_2O} был выше, чем в контроле, только в вариантах применения мочевины и аммиака.

При применении полного минерального удобрения, включавшего аммиачную селитру, суперфосфат двойной гранулированный и хлористый калий крупнозернистый, величина pH_{KCl} снижалась до 5.08–4.87, начиная с дозы, равной в пересчете на полевые условия 300 кг/га каждого элемента. При максимальной дозе удобрений $N30000P30000K30000$ pH_{KCl} был равен 4.86 ед., в контроле — 5.19. Показатель pH_{H_2O} при этих же уровнях удобрения был равен соответственно 5.61, 5.28, 4.91, в контроле — 5.81 ед. Снижение величины pH при применении полного минерального удобрения, видимо, в большей мере было обусловлено использованным в опыте калийным удобрением.

Продуктивность растений в микроvegetационных опытах не была связана с реакцией среды. Угнетающее действие возрастающих доз минеральных удобрений зависело от вида и формы вещества. При применении азотных удобрений снижение продуктивности растений ячменя отмечено, начиная с дозы $N6000$, сильное ингибирование — при дозе $N18000$, полная гибель — при дозе $N30000$. При применении NPK продуктивность растений начинала снижаться с дозы $N3000P3000K3000$, сильно уменьшалась с дозы $N6000P6000K6000$, полная гибель растений отмечена при дозе $N12000P12000K12000$ и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Е.Н., Зеленина М.Ф. Влияние известкования на эффективность доз минеральных удобрений под сахарную свеклу на выщелоченных черноземах // Тр. ВНИИСС. Т. 5. Вып. 2. Воронеж, 1974. С. 54–62.
2. Бровкина Е.А. Известкование почв в районах свеклосеяния. Киев: Урожай, 1976. 89 с.
3. Бесков И.Х. Отходы промышленности на удобрения полей. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1976. 79 с.
4. Сонина К.И. Известкование черноземных почв. Обзор. информ. М., 1984. 69 с.
5. Известкование сельскохозяйственных угодий. Указатель литературы за 1974–1977 гг. / Сост. Чернова Л.В. М.: ЦНСХБ, 1978. 114 с.
6. Гасанова Е.С., Кожихина А.Н., Мязин Н.Г., Стекольников К.Е., Мухина С.В. Изменение содержания и строения гуминовых кислот чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и дефеката // Вестн. ВоронежГАУ. 2019. № 4(63). С. 113–122.
<https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.4.113>
7. Поротиков И.Ф., Бесков И.Х. Известкование кислых почв Центрально-Черноземной полосы. Рекомендации // Зональные рекомендации и технологии механизированных работ по известкованию кислых почв. Ч. 1. Рекомендации по известкованию кислых почв. М., 1974. С. 98–112.
8. Турусов В.И., Новичихин А.М., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Беспалов В.А., Рябцев А.Н. Рекомендации по регулированию реакции среды черноземных почв Воронежской области. Каменная Степь, 2019. 21 с.
9. Чевердин Ю.И., Поротиков И.Ф. Роль антропогенных факторов в регулировании реакции среды черноземов // Агрохимия. 2015. № 8. С. 15–22.
10. Чевердин Ю.И. Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия. Воронеж: Истоки, 2013. 336 с.
11. Лукин С.В., Празина Е.А. Мониторинг кислотности почв ЦЧО России // Достиж. науки и техн. АПК. 2019. № 4. С. 8–11.
<https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10402>
12. Чекмарев П.А. Агрохимическое состояние пахотных почв России // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. № 9. С. 17–20.
13. Жабин М.А., Мухина С.В., Коновалов Ю.А., Калашников Н.И. Динамика почвенных показателей юго-восточных и южных районов Воронежской области // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. № 11. С. 14–16.
14. Барсуков П.А., Макарикова Р.П. Зависимость продуктивности культур от параметров кислотности супесчаной дерново-подзолистой почвы Западной Сибири // Агрохимия. 1999. № 1. С. 28–35.
15. Семендяева Н.В. Влияние длительного применения удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы таежной зоны Западной Сибири // Агрохимия. 2010. № 3. С. 3–11.
16. Борисов В.А., Васючков И.Ю., Успенская О.Н., Гренадеров Н.В., Моисеева В.Н., Деревщицков С.Н. Влияние многолетнего применения удобрений в овощном севообороте на плодородие выщелоченного чернозема Воронежской области // Агрохимия. 2017. № 5. С. 31–39.
17. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Бондарева Т.Н., Дроздова В.В., Лебедевский И.А., Осипов М.А., Есипенко С.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие чернозема выщелоченного Западного Предкавказья // Агрохимия. 2017. № 5. С. 3–1.
18. Сычев В.Г. Тенденции изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части

- России / Под ред. Минеева В.Г. М.: ЦИНАО, 2000. 187 с.
19. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
 20. Давлятин И.Д., Лукманов А.А., Гайров Р.Р. Почвенная кислотность, степень удобрённости и урожайность яровой пшеницы в северной полосе лесостепной зоны республики Татарстан // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 54–59. <https://doi.org/10.1134/S0002188119040033>
 21. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Удобрение и продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья // *Агрохимия*. 2018. № 2. С. 56–70. <https://doi.org/10.7868/S0002188118020059>
 22. Гасанова Е.С., Стекольников К.Е., Мязин Н.Г., Фоминых Т.О. Изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного в опыте с удобрениями и мелиорантом при выращивании топинамбура // *Плодородие*. 2014. № 5. С. 29–31.
 23. Минакова О.А., Александрова Л.В., Куницын Д.А. Изменение почвенного плодородия и урожайности сахарной свеклы при длительном применении удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи Центрального черноземного региона // *Агрохимия*. 2018. № 1. С. 52–56. <https://doi.org/10.7868/S0002188118010052>
 24. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И., Шустикова Е.П. Кислотно-основные свойства чернозема обыкновенного после длительного внесения минеральных удобрений // *Плодородие*. 2016. № 4. С. 15–18.

Changes in the Reaction of the Medium of Ordinary Chernozem under the Influence of Increasing Doses of Mineral Fertilizers

Yu. I. Cheverdin^{a,#} and I. F. Porotikov^a

^a V.V. Dokuchaev Voronezh Federal Agricultural Research Center

Kamennaya Steppe, quar. 5, 81, Docuchaev Institute, Talovaya district, Voronezh region 397463, Russia

[#]E-mail: cheverdin62@mail.ru

In a micro-vegetation field experiment, changes in the acidity of chernozem under the influence of increasing doses of mineral fertilizers were studied. Nitrogen fertilizer (N) and a full dose of NPK were used. When laying experiments, the fertilizer doses varied in a wide range – from 30 to 30000 kg active ingredient/ha. When using a complete mineral fertilizer, including ammonium nitrate, double granulated superphosphate and coarse-grained potassium chloride, pH_{KCl} most noticeably began to decrease from a dose of N300P300K300 – from 5.19 to 4.99 units pH. At a maximum dose of 30000 kg/ha, the pH_{KCl} was 4.87. There is no connection between the reaction of the environment and the productivity of crops. The depressing effect of nitrogen fertilizers with a dose of N6000, a complete fall of plants at a dose of N30000 was noted. When using NPK, a decrease in productivity was manifested at a dose of 3000 or more. The complete attack of plants was observed at a dose of N1200P1200K1200.

Key words: chernozems, fertilizers, fertilizer doses, soil acidity, productivity, barley.