



# ДИНАМИКА КИСЛОТНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Д. И. ЕРЁМИН,

кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры почвоведения и агрохимии,

Г. Д. ПРИТЧИНА,

кандидат сельскохозяйственных наук,

доцент кафедры почвоведения и агрохимии,

Тюменская государственная сельскохозяйственная академия

625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7;  
тел. 8 (3452) 46-16-43;  
e-mail: soil-tyumen@yandex.ru

*Положительная рецензия представлена Л. Н. Скипным, доктором сельскохозяйственных наук, профессором, заведующим кафедрой безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды Тюменского государственного архитектурно-строительного университета.*

Сельское хозяйство с целью повышения эффективности производства с каждым годом все больше использует минеральные удобрения, большая часть из которых является физиологически кислыми солями (аммиачная селитра, хлористый и сернокислый калий). Помимо этого даже кальцийсодержащие удобрения, такие как суперфосфаты, содержат в своем составе кислоты, которые также способствуют подкислению почвенного раствора. Нельзя не учитывать и тот факт, что сельское хозяйство Западной Сибири в основном базируется на почвах изначально склонных к постепенному подкислению, поэтому длительное применение минеральных удобрений может усилить процессы подкисления пахотных почв, что неминуемо приведет к снижению продуктивности и физико-химической деградации пашни.

Цель настоящего исследования — изучить влияние длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений в зерновом с занятым паром севообороте на динамику кислотности и основные химические свойства чернозема выщелоченного.

**Условия проведения опыта.** Стационарный опыт по изучению минеральных удобрений был заложен в 1995 г. на маломощном, тяжелосуглинистом черноземе выщелоченном, с типичными для Западной Сибири признаками и свойствами (табл. 1) [1, 2, 3].

Исследования проводили в зерновом с занятым паром севообороте (однолетние травы, пшеница, овес). Система обработки почвы традиционная для лесостепной зоны Зауралья.

Удобрения вносились из расчета на планируемую урожайность яровой пшеницы и овса 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 т/га зерна, в качестве контроля использовался вариант без внесения удобрений. В опыте использо-

вали аммиачную селитру с содержанием азота 34,5 % и аммофос, где на азот и фосфор приходилось 12 и 52 % соответственно. Удобрения вносились перед посевом под предпосевную культивацию. При уборке зерновых культур солома измельчалась и запахивалась непосредственно на вариантах.

Актуальная и обменная кислотности почвы определялись потенциометрическим методом (ГОСТ 27753.3-88; ГОСТ 26484-85); гидролитическая кислотность и сумма обменных оснований — по Каппену (ГОСТ 26212-91; ГОСТ 27821-88).

## Результаты исследований.

За 18 лет исследований на варианте с планируемой урожайностью 3,0 т/га зерна было внесено азота и фосфора 886 и 90 кг/га соответственно (рис. 1). Столь незначительное количество фосфора обусловлено тем, что данный элемент питания стал необходим только в последние годы исследований. На варианте с максимальной насыщенностью минеральными удобрениями за период с 1995 по 2012 гг. было внесено 2832 кг азота и 1266 кг фосфора. Исследования перед закладкой опыта в 1995 г. показали, что актуальная и обменная кислотности в слое 0–30 см варьируют незначительно — 6,7–6,8 и 5,4–5,5 ед., соответственно (табл. 2, 3).

Длительное выращивание зерновых культур без использования минеральных удобрений на фоне запашки измельченной соломы привело к повышению актуальной кислотности на 10,4 % относительно 1995 г. и к 2012 г. достигла 6,0 ед. Достоверное подкисление водной вытяжки было отмечено уже в 2010 г., тогда как 2004 и 2007 гг. данный показатель составил 6,4 ед. — отклонение было на уровне ошибки опыта ( $HCp_{05} = 0,3$ ).

Таблица 1

## Характеристика чернозема выщелоченного опытного поля Тюменской ГСХА,

(Д. И. Еремин, В. В. Рзаева, 2012 г.)

Слой, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Гумус, %	Валовые, %		V, %	Физ. глина (<0,01 мм), %	МГ	НВ
	сложения	твердой фазы		азот	фосфор				
0-10	1,07	2,47	9,05	0,44	0,18	91	46,8	10	40
10-20	1,13	2,45	9,00	0,45	0,18	90	45,3	11	39
20-30	1,25	2,55	7,65	0,43	0,16	89	36,2	11	41
30-40	1,40	2,66	4,41	0,21	0,11	92	46,5	12	29
40-50	1,38	2,6	2,00	0,18	0,10	90	47,5	10	27

Примечание: V — степень насыщенности почвы основаниями, %; МГ — максимальная гигроскопичность; НВ — наименьшая влагоемкость.

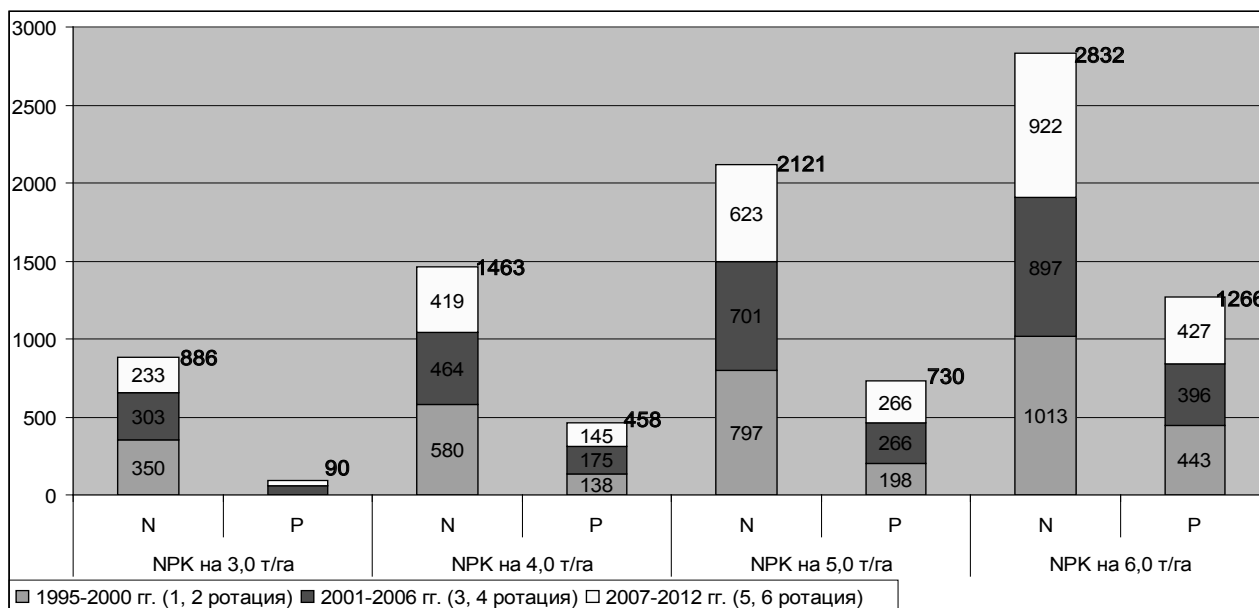


Рисунок 1

Количество азота и фосфора, внесенного за период 1995–2012 гг. в зерновом с занятым паром севообороте на планируемую урожайность зерновых культур, кг д. в./га

Обменная кислотность, являющаяся более стабильным показателем, за годы исследований на контроле не имела достоверных изменений, к 2012 г.  $pH_{\text{сол}}$  составила 5,2 ед. при  $HCP_{05}$  равном 0,2 ед. Однако, несмотря на отсутствие достоверных различий, прослеживается четкая тенденция повышения обменной кислотности чернозема выщелоченного при выращивании зерновых культур без удобрений. Внесение минеральных удобрений из расчета планируемой урожайности 3,0 и 4,0 т/га зерна не повлияло на актуальную и обменную кислотности, которые оставались на уровне 1995 г. — 6,6–6,8 и 5,4–5,6 ед., соответственно. Отсутствие процесса подкисления обусловлено совокупностью таких факторов как повышение биогенного выноса кальция и магния зерновыми культурами, с последующим перераспределением соломы в пахотном слое, что позволяет снизить потери данных химических элементов, Немаловажную роль играет и улучшение качества гумуса, образующегося на данных вариантах [4].

На варианте с внесением NPK на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна динамика актуальной и обменной кислотности имела четкую тенденцию к повышению. За период с 1995 по 2001 г. (2 ротации севооборота)  $pH_{\text{вод}}$  уменьшилась с 6,7 до 6,3 ед. до 6,0 % от исходного состояния, а в период с 2001 по 2010 г. она снизилась на 10,4 % относительно 1995 г. и достигла 6,0 ед. Обменная кислотность, хотя и является более стабильной величиной, также возраста-

ла в течение проведения опытов: в 1995 г. —  $pH_{\text{сол}}$  5,5 ед.; 2001 г. — 5,2 ед., а в 2010 г. — 5,0 ед.

Повышение кислотности на фоне возрастающих доз удобрений и количества растительных остатков, которые должны улучшить гумусообразование, по нашему мнению, обусловлено увеличением отчуждения кальция и магния с зерном, тогда как запасы данных элементов в соломе недостаточно для восполнения потерь катионов кальция и магния в пахотном слое.

Максимальный уровень химизации (NPK на 6,0 т/га зерна) уже в течение одной ротации (1995–1998 гг.) снизил  $pH_{\text{вод}}$  с 6,8 до 6,0 ед., что указывает на явное подкисление пахотного слоя. Столь быстрое изменение актуальной кислотности, без отклонений обменной ( $pH_{\text{сол}} = 5,4$  ед.), не может быть следствием биогенного выноса щелочноземельных металлов или изменения качества гумуса, поэтому в данном случае причиной становятся сами минеральные удобрения, которые подкисляют почвенный раствор. Период 1998–2007 гг. характеризуется отсутствием изменений актуальной кислотности —  $pH_{\text{вод}}$  варьировала в пределах 5,8–6,0 ед. ( $HCP_{05} = 0,3$ ). Однако в период 1998–2001 гг. отмечалось повышение обменной кислотности до 5,0 ед., что на 9,1 % меньше значений перед закладкой опыта. В дальнейшем (2001–2012 гг.) достоверных изменений также не было. В 2010 г. актуальная и обменная кислотность пахотного слоя чернозема выщелоченного на варианте с удобрениями на 6,0 т/га достигла 5,0 и 5,8 ед., соответственно.

Таблица 2

Динамика актуальной кислотности в слое 0–30 см чернозема выщелоченного при различном уровне химизации, ед.

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Отклонение относительно 1995 г., %	
	1995	1998	2001	2004	2007	2010	2012	2004	2012
Контроль	6,7	6,8	6,8	6,4	6,4	6,0	6,0	-4,5	-10,4
NPK на 3,0 т/га	6,8	6,6	6,6	6,8	6,8	6,6	6,8	0,0	-2,9
NPK на 4,0 т/га	6,7	6,6	6,4	6,6	6,6	6,8	6,8	-1,5	1,5
NPK на 5,0 т/га	6,7	6,5	6,3	6,3	6,2	6,0	6,0	-6,0	-10,4
NPK на 6,0 т/га	6,8	6,0	5,8	6,0	5,8	5,6	5,6	-11,8	-17,6

Примечание:  $HCP(A) = 0,3$ ;  $HCP(B) = 0,3$ ;  $HCP(AB) = 0,2$ .

Таблица 3

**Динамика обменной кислотности в слое 0–30 см чернозема выщелоченного при различном уровне химизации, ед.**

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)							Отклонение относительно 1995 г., %	
	1995	1998	2001	2004	2007	2010	2012	2004	2012
Контроль	5,4	5,5	5,5	5,4	5,2	5,2	5,2	0,0	-3,7
НРК на 3,0 т/га	5,4	5,5	5,4	5,5	5,5	5,6	5,5	1,9	3,7
НРК на 4,0 т/га	5,4	5,4	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5	-1,9	1,9
НРК на 5,0 т/га	5,5	5,5	5,2	5,2	5,2	5,0	5,0	-5,5	-9,1
НРК на 6,0 т/га	5,5	5,4	5,0	4,8	4,8	4,8	4,8	-12,7	-12,7

Примечание: НСР (А) = 0,2; НСР (В) = 0,2; НСР (АВ) = 0,2.

Таблица 4

**Сумма обменных оснований и гидролитическая кислотность чернозема выщелоченного, мг-экв./100 г почвы**

Вариант (фактор А)	Слой, см	Год (фактор В)							
		1995		2001		2007		2012	
		S	ГК	S	ГК	S	ГК	S	ГК
Контроль	0–30	29,6	3,5	29,7	3,6	29,4	3,6	29,0	3,5
	30–50	22,2	2,4	21,9	2,5	21,7	2,7	22,0	2,8
НРК на 3,0 т/га	0–30	30,4	3,5	30,0	3,6	29,6	3,5	30,2	3,4
	30–50	22,3	2,2	21,7	2,2	21,2	2,3	21,5	2,5
НРК на 4,0 т/га	0–30	30,7	3,7	30,0	3,9	29,6	3,9	29,1	3,8
	30–50	22,2	2,2	21,5	2,4	21,4	2,4	20,7	2,5
НРК на 5,0 т/га	0–30	29,8	3,7	28,4	4,0	26,5	4,3	26,0	4,2
	30–50	21,9	2,3	20,5	2,7	18,6	3,4	17,8	3,6
НРК на 6,0 т/га	0–30	30,5	3,5	28,3	3,9	26,4	4,6	25,4	4,5
	30–50	22,5	2,4	20,4	2,8	17,9	3,8	17,0	4,0

Примечание: S — сумма обменных оснований (НСР<sub>05</sub> 0–30 см (А = 1,5; В = 1,4); 30–50 см (А = 1,3; В = 1,2)); ГК — гидролитическая кислотность (НСР<sub>05</sub> 0–30 см (А = 0,2; В = 0,3); 30–50 см (А = 0,3; В = 0,3)).

Данную особенность можно отнести к проявлению буферной способности чернозема выщелоченного, препятствующего резким изменениям факторов почвообразования (в нашем случае им является минеральное питание). Однако в дальнейшем постепенное подкисление происходит уже за счет формирования качественно нового по свойствам гумуса [4].

Сумма обменных оснований в пахотном (0–30 см) и подпахотном (30–50 см) слоях перед закладкой опытов в 1995 г. составляла соответственно 29,6–30,7 и 21,9–22,5 мг-экв./100 г почвы. За 6 лет опытов (2 ротации) данный показатель на контроле не изменился — отклонения были в пределах ошибки опыта. Изменений также не было обнаружено и в 2007 г., где сумма обменных оснований составила 29,4 и 21,7 мг-экв./100 г почвы (табл. 4). Однако, гидролитическая кислотность в слое 30–50 см имела тенденцию к повышению в течение четырех ротаций зернового с занятым паром севооборота и к 2007 г. достигла 2,7 мг-экв./100 г почвы, что на 12,5 % больше значений 1995 г. Изменение гидролитической кислотности, при неизменной сумме обменных оснований указывает на формирование качественно нового по свойствам органического вещества. Процессы биогенного выноса щелочноземельных металлов на данном варианте не доказуемы.

Сумма обменных оснований в слое 0–50 см за 6 лет опыта не меняется при внесении удобрений на планируемой урожайности 3,0 и 4,0 т/га зерна, чего нельзя сказать о гидролитической кислотности, которая возросла в слое 30–50 см на 9,1 % относительно 1995 г. и оставалась на этом уровне до 2007 г. Данный факт обусловлен нарушением кальциево-магниевое равновесия характерного для черноземных почв. Причиной этому является усиление биогенного вы-

носа в совокупности с образованием подвижных гумусовых веществ [5].

Внесение удобрений на 5,0 т/га зерна в течение 12 лет, привело к снижению суммы обменных оснований в слое 0–30 см с 29,8 до 26,5 мг-экв./100 г почвы — отклонение составило 11,1 % относительно первоначальных данных. Изменения данного показателя к 2001 г. были недоказуемы (28,4 мг-экв./100 г почвы при НСР<sub>05</sub> = 1,5), при этом гидролитическая кислотность в пахотном слое возросла на 8,1 % относительно 1995 г. и составила 4,0 мг-экв./100 г почвы, а в 2007 г. — 4,3 мг-экв./100 г почвы (повышение на 16,2 % относительно 1995 г.).

Процесс ухудшения анализируемых химических показателей наиболее ярко выражен в слое 30–50 см, где сумма обменных оснований достоверно снизилась до 20,5 мг-экв./100 г почвы (на 6,4 % относительно 1995 г.), а гидролитическая кислотность возросла на 17,4 % и достигла 3,4 мг-экв./100 г почвы. Период 2001–2007 гг. характеризовался стабильным снижением суммы обменных оснований и повышением гидролитической кислотности.

Влияние максимальной насыщенности севооборота минеральными удобрениями (НРК на 6,0 т) на химические свойства пахотного чернозема становится очевидными уже через 2 ротации севооборота (1995–2001 гг.). Сумма обменных оснований в слое 0–30 и 30–50 см снизилась с 30,5 и 22,5 до 28,3 и 20,4 мг-экв./100 г почвы, в то же время гидролитическая кислотность возросла до 3,9 и 2,8 мг-экв./100 г почвы соответственно. Столь существенное изменение данных показателей за 6 лет опытов нельзя объяснить с точки зрения одного только биогенного выноса кальция и магния, так как разница в отклонении суммы обменных оснований и гидролитической

Степень насыщенности основаниями чернозема выщелоченного при различном уровне химизации, %

Вариант	Слой, см	1995 г.	2001 г.	2007 г.	2012 г.	Изменение за 1995–2012 гг.
Контроль	0–30	89	89	89	89	0
	30–50	90	90	89	89	-1
NPK на 3,0 т/га	0–30	90	89	89	90	0
	30–50	91	91	90	90	-1
NPK на 4,0 т/га	0–30	89	88	88	88	-1
	30–50	91	90	90	89	-2
NPK на 5,0 т/га	0–30	89	88	86	86	-3
	30–50	90	88	85	83	-7
NPK на 6,0 т/га	0–30	90	88	85	85	-5
	30–50	90	88	82	81	-9

кислотности практически в 2 раза, что указывает на усиление процесса выщелачивания катионов щелочноземельных металлов из почвенно-погложительного комплекса. К 2007 г. процесс снижения суммы обменных оснований на фоне значительного повышения гидролитической кислотности не стабилизировался — показатели достигли 17,9–26,4 и 3,8–4,6 мг-экв./100 г почвы соответственно, при этом ГК возросла на 31,4–58,3 % относительно 1995 г. Период с 2007 по 2012 гг. характеризовался отсутствием достоверных изменений данных показателей, что обусловлено проявлением буферной способности чернозема выщелоченного.

Процессы ухудшения химических свойств хорошо прослеживаются по степени насыщенности основаниями. Перед закладкой опыта она составляла 89–91 % (табл.5), что является типичной для черноземных почв, даже находящихся длительное время под пашней. Отклонения в 1 % мы рассматривать не будем, так как под действием пульсационной миграции карбонатов по почвенному профилю степень насыщенности может меняться в этих пределах [6].

За период с 1995 по 2012 гг. достоверное снижение степени насыщенности в слое 0–50 см произошло при использовании минеральных удобрений, вносимых на планируемую урожайность свыше 4,0 т/га зерна. Необходимо отметить, что в период 1995–2001 гг. степень насыщенности основаниями при внесении удобрений из расчета на урожайность 5,0 т/га достоверно снижалась только в слое 30–50 см с 90 до 88 %, тогда как на варианте с NPK на 6,0 т/га степень насыщенности основаниями достоверно снизилась и в пахотном слое. В период с 2001 по 2007 гг. данный показатель продолжал снижаться, но более высокими темпами — то есть процесс деградации усилился. В конечном итоге степень насыщенности основаниями в слое 0–50 см на вариантах с внесением NPK на 5,0 и 6,0 т/га зерна достигла минимальных значений — 85–86 и 82–85 % соответственно.

Столь заметное снижение степени насыщенности почвы основаниями при длительном внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность свыше 4,0 т/га хоть и не достигает критических значений (75 %), но при дальнейшем использовании такого уровня химизации в зерновом с занятым паром севообороте приведет к необходимости проведения известкования для снижения кислотности и восполнения дефицита кальция в слое 0–50 см чернозема выщелоченного.

#### Выводы.

1. Отсутствие минеральных удобрений в зерновом с занятым паром севообороте в течение 18 лет способствует подкислению пахотного слоя чернозема выщелоченного — актуальная и обменная кислотность достигает 5,4 и 5,2 ед. соответственно, при этом гидролитическая кислотность увеличивается лишь в слое 30–50 см с 2,4 до 2,7 мг-экв./100 г почвы.

2. Длительное использование удобрений на планируемую урожайность зерна 3,0–4,0 т/га не приводит к подкислению и ухудшению химических параметров пахотного слоя.

3. Внесение удобрений на 5,0 и 6,0 т/га зерна на протяжении двух ротаций зерновом с занятым паром севооборота способствует повышению актуальной и обменной кислотности на 6,0–14,7 и 5,5–9,1 % относительно первоначальных значений. За 18 лет опытов  $pH_{вод.}$  и  $pH_{сол.}$  снизились с 6,8 до 5,6 и 5,5 до 4,8 ед. соответственно.

4. Негативное влияние минеральных удобрений, вносимых на получение 5,0 т/га зерна, достоверно прослеживается в слое 30–50 см: сумма обменных оснований за 15 лет уменьшилась с 21,9 до 18,6 мг-экв./100г почвы; гидролитическая кислотность возросла с 2,3 до 3,6 мг-экв./100 г почвы.

5. При максимальной насыщенности минеральными удобрениями (NPK на 6,0 т/га зерна) негативный эффект проявляется в пахотном слое уже после двух ротаций зернового с занятым паром севооборота.

#### Литература

- Каретин Л. Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск : Наука, 1990. 285 с.
- Абрамов Н. В. Агрофизические свойства старопахотных выщелоченных черноземов Tobol-Ишимского междуречья Зауральского плато // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2007. № 2. С. 8–12.
- Ерёмин Д. И. Агрогенные изменения водно-физических свойств черноземов выщелоченных восточной окраины Зауральского Плато // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. 2010. № 18. С. 72–76.
- Ерёмин Д. И. Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зауралья : дис. ... докт. биол. наук. Тюмень, 2012. 479 с.
- Травникова Л. С. Роль продуктов взаимодействия органической и минеральной составляющих в генезисе и плодородии почв // Почвоведение. 1992. № 10. С. 81–96.
- Коковина Т. П. Водный режим мощных черноземов и влагообеспеченность на них сельскохозяйственных культур. М. : Колос, 1974. 303 с.