

УДК 631.811:631.445.24:546.27

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БОРА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ И ВИДОВ УДОБРЕНИЙ И ИЗВЕСТКОВАНИИ

Г. Л. НЕЛЮБОВА, В. П. СТАРОВОЙТОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Интенсивное использование пахотных земель, расширение химизации, увеличение доз применяемых удобрений могут привести к нарушению баланса микроэлементов. В связи с этим важно изучить накопление микроэлементов в почве при различных дозах и видах удобрений.

В отечественной и зарубежной литературе имеется значительный материал о накоплении в почве микроэлементов, в том числе водорастворимого бора, при длительном применении извести, органических и минеральных удобрений. Большое количество работ посвящено действию извести на подвижность бора и доступность его растениям [10, 11, 14, 18, 20 и др.]. Ряд авторов отмечают [10, 11, 20], что известкование кислых почв снижает количество подвижного бора в почве и ухудшает условия борного питания растений. Исследования образцов почвы с опытного поля в Скерневице показали [18], что систематическое известкование (в течение 40 лет) способствует повышению содержания водорастворимого бора в почве. Аналогичные данные получены и в других опытах [16]. Возможно, что однократное внесение извести приводит к уменьшению подвижности бора, а систематическое ее применение — к повышению запасов подвижного бора. Это согласуется с выводами о том, что в окультуренных почвах содержится больше водорастворимого бора, чем в слабоокультуренных того же генетического типа [6, 10].

Данных о влиянии длительного применения минеральных удобрений на накопление подвижного бора в почвах сравнительно немного и совсем мало сведений о влиянии на его содержание удобрений разного состава. Исследования показали [2], что при 20-летнем бессменном выращивании картофеля и одностороннем применении калийных удобрений содержание подвижного бора в сильноподзолистой песчаной почве значительно снижалось. Аналогичные результаты получены в опытах П. И. Никишкиной и Р. В. Долгополовой [14]. При совместном внесении азотных, фосфорных и калийных удобрений содержание водорастворимого бора в почве снижалось, а при внесении фосфорно-калийных заметно не изменялось [18]. Действие азотных удобрений зависит от их формы. При внесении удобрений в форме сульфата аммония содержание подвижного бора снижается, а в форме цианамиды кальция — повышается. Влияние отдельных удобрений на содержание бора в почве коррелировало с влиянием этих удобрений на pH почвы. При повышении pH содержание в почве подвижного бора возрастало.

Выявлено [17], что интенсивное применение навоза приводит к увеличению содержания подвижного бора в почве. При длительном (в течение 40 лет) его применении содержание водорастворимого бора повышалось как в пахотном, так и в более глубоких слоях почвы [18].

Ряд авторов указывают [16, 19], что при многолетнем внесении навоза содержание подвижного бора возрастает в большей степени, чем при длительном применении минеральных удобрений.

Таким образом, приведенный литературный обзор показывает противоречивость данных о влиянии удобрений разного состава на содержание подвижного бора в почве. Следует также отметить, что большинство авторов [2, 18, 16] в основном исследовали почвы при длительной монокультуре. В связи с этим представляло интерес изучить действие различных доз и видов удобрений на накопление бора в бедных этим элементом дерново-подзолистых почвах при возделывании культур в севообороте. Мы исследовали образцы почв трех стационарных опытов, различающихся по продолжительности и системе удобрения (разные виды и дозы), а также почву после компостирования с известью и минеральными удобрениями.

#### Условия и методика проведения исследований

Образцы почвы отбирали с участков опыта Опытной станции полеводства Тимирязевской академии, Центральной опытной станции ВИУА (в Барыбино) и опыта кафедры агрономической и биологической химии в учхозе «Дубки» Рузского района Московской области. Смешанные образцы составляли из 5 и более индивидуальных проб, отобранных буром на соответствующую глубину. Для каждого варианта и го-

применение минеральных удобрений в сочетании с известью — урожай зерновых культур и клевера в севообороте удвоились, а картофеля почти утроились.

В опыте Центральной опытной станции ВИУА на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в кормовом севообороте (кукуруза — кукуруза — вико-овсяная смесь + травы злаковые — травы 1-го года — травы 2-го года) с 1972 г. изучается действие умеренных и высоких доз беспод-

Таблица 1

#### Эффективность удобрений в севообороте (средний урожай за три ротации по [7])

Вариант опыта	Оз. рожь		Овес		Картофель	
	без извести	по извести	без извести	по извести	без извести	по извести
Без удобрения	16,5	22,8	13,6	20,6	72,3	82,9
Naa	17,8	24,9	14,2	22,2	79,8	85,2
Pc	22,3	25,8	14,9	20,7	96,7	107,3
Kx	17,8	26,5	13,3	20,2	99,2	148,8
NP	22,4	26,3	15,9	22,2	91,4	129,5
zK	18,9	26,7	13,6	23,8	92,1	167,9
PK	26,1	29,4	18,4	23,4	139,6	202,3
NPК	25,9	32,8	18,1	25,7	160,1	209,1
NPК + навоз	27,3	32,5	20,1	26,8	211,1	236,2

ризонта было отобрано по 3 смешанных образца, которые анализировали индивидуально.

В опыте кафедры земледелия на Опытной станции полеводства с 1912 г. испытываются 9 вариантов удобрений дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы: 1 — Naa, 2 — Pc, 3 — Kx, 4 — без удобрения, 5 — NP, 6 — NK, 7 — PK, 8 — NPК + навоз, 9 — NPК. С 1949 г. половину каждой из делянок известковали. Образцы почвы отбирали осенью 1975 г. из пахотного (0—20 см) и подпахотного (20—40 см) горизонтов. За 63 года на поле прошло 10 ротаций севооборота (пар — озимая рожь — картофель — овес + клевер — клевер — лен). Общее количество внесенных удобрений составило: N — 2520, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 3090, K<sub>2</sub>O — 3376 и навоза — 540 т/га [5].

Наиболее высокие урожаи зерна (20—32,5 ц/га), клубней картофеля (211—236 ц/га), соломки льна (32,7 ц/га) и сена клевера (42—47 ц/га) получены при совместном применении минеральных удобрений и навоза (табл. 1 и 2). Высокий эффект дает

Таблица 2

#### Влияние удобрений на урожай (ц/га) клевера и льна по [4]

Вариант опыта	Клевер (сено) в среднем за 1913—1966 гг.		Лен (соломка) в среднем за 1912—1966 гг.	
	без извести	по извести	без извести	по извести
Без удобрений	18,0	22,9	19,4	21,8
Naa	25,5	29,8	16,6	19,2
Pc	24,5	30,5	19,0	20,9
Kx	21,1	30,7	22,7	26,2
NP	26,0	28,4	19,6	24,1
NK	24,9	32,9	21,1	27,5
PK	29,3	37,5	25,1	28,0
NPК	29,6	35,7	22,3	24,5
NPК + навоз	42,1	47,4	32,7	32,8

## Влияние бесподстилочного навоза на урожай зеленой массы кукурузы (ц/га) по [13]

Вариант опыта	Поле I		Поле II		Поле III		Среднее за 1972—1975
	1972	1973	1973	1974	1974	1975	
Контроль (без удобрений)	158	541	537	96	136	518	331
Бесподстилочный навоз:							
2 нормы (240 кг/га N)	37	222	156	182	192	194	164
5 норм (600 кг/га N)	5	240	210	209	176	177	170
НРК в дозе, эквивалентной 2 нормам навоза	18	142	176	167	360	162	171
Бесподстилочный навоз							
1 норма + НРК в дозе, эквивалентной 1 норме навоза	16	180	156	231	278	232	182
ЗЕ	28,4	91,4	87,9	90,6	108,0	71,3	

П р и м е ч а н и е. В контроле — урожай, в вариантах — прибавки.

стилочного навоза на величину и качество урожая. Пробы почвы брали осенью 1976 г. За 5 лет с навозом (2 нормы) и минеральными удобрениями было внесено N — 1090, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 404, K<sub>2</sub>O — 1220 кг/га, а в варианте с повышенной дозой навоза (5 норм) — 2725, 1010 и 3050 кг/га. Содержание подвижного бора определяли в 5 почвенных горизонтах: 0—20; 20—40; 40—60; 60—80 и 80—100 см.

Внесение под кукурузу на силос с бесподстилочным навозом ежегодно свыше 300 кг общего азота на 1 га не обеспечивало дальнейшего повышения урожая (табл. 3).

В опыте, проводившемся в учхозе «Дубки» с 1963 по 1975 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, изучалось влияние разных систем удобрения на урожай культур в 8-польном севообороте (ячмень+травы—травы 1-го года—травы 2-го года—озимая рожь— вико-овсяная смесь—озимая пшеница—овес—картофель). За 13 лет с минеральными удобрениями было внесено N — 975 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 949, K<sub>2</sub>O — 1300 кг/га, навоза — 130 т/га. При изучении совместного действия минеральных удобрений и навоза их применяли в половинных дозах. В контрольном вариан-

те давали рядковое удобрение, и за 13 лет было внесено N — 26, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 65 кг/га. Общее количество основных питательных веществ было наиболее высоким при внесении одних минеральных удобрений. Все варианты опыта испытывали на фоне извести. Бор определяли в образцах почвы, отобранных в пахотных и подпахотных горизонтах.

В этом опыте применение органических и минеральных удобрений позволило увеличить урожай культур севооборота в 1,7—2,5 раза (табл. 4).

Влияние различных доз азота, фосфора и калия на содержание подвижного бора в почве изучалось также в опыте с компостами дерново-подзолистой почвы, взятой с Лесной опытной дачи. Почва имела рН<sub>с.ол</sub> — 4,2, Нг — 6,0, обменную кислотность — 1,5, емкость поглощения — 8,2 мэкв на 100 г, содержание подвижных форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O по Кирсанову — соответственно 2,1 и 4,0 и бора — 0,068 мг на 100 г.

Схема опыта следующая: 1 — без удобрений+известь (фон), 2 — НРК, 3 — N<sub>2</sub>PK, 4 — N<sub>3</sub>PK, 5 — N<sub>3</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub>.

Для опыта использовали полиэтиленовые сосуды емкостью 1 кг; дренаж готовили из мелконарезанной полиэтиленовой трубки. Азот, фосфор и калий вносили в виде

Т а б л и ц а 4

## Урожай культур (ц/га) при разных системах удобрения за 13 лет (данные И. А. Сироткиной \*)

Культура	Контроль (рядковое удобрение N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> )	Навоз, 10 т/га	N <sub>72</sub> P <sub>73</sub> K <sub>100</sub>	Навоз, 5 т/га + N <sub>32</sub> P <sub>33</sub> K <sub>50</sub>
Ячмень	12,3	22,5	25,5	25,9
Травы 1-го года	27,2	46,1	41,7	44,1
Травы 2-го года	22,6	38,1	37,7	37,0
Оз. рожь	9,7	21,1	27,0	—
Вико-овсяная смесь	20,0	45,6	48,8	45,8
Оз. пшеница	9,5	17,3	23,9	20,8
Овес	15,9	22,5	26,9	26,8
Картофель	102,0	170,0	186,0	188,0

\* Данные отчета по кафедре за 1975 г.

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и  $\text{KNO}_3$ . За однократную дозу принимали 0,1 г N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{K}_2\text{O}$  на 1 кг почвы. Фоном служила почва, известкованная по половинной норме гидролитической кислотности. Повторность опыта 3-кратная, образцы почвы отбирали через месяц. Компосты были заложены 7 июня 1976 г. Всего было взято 3 пробы.

При определении водорастворимого бора в почве пользовались безборовым стеклом

марки КЛП-ХУ, кварцевой и полиэтиленовой посудой. Воду для анализа пропускали через ионообменные смолы. Содержание бора в воздушно-сухой почве определяли фотокolorиметрическим методом с использованием хинализарина [8, 15],  $\text{pH}_{\text{соль}}$  почвы — потенциометрическим методом и  $\text{H}_2$  — по Каппену. Полученные результаты подвергали статистической обработке [1]. Общий бор определяли спектральным методом.

### Результаты исследований

Содержание водорастворимого бора в образцах почвы после 63-летнего применения удобрений (эксперимент Опытной станции полеводства) колеблется в вариантах с удобрениями разного состава от 0,24 до 0,63 мг на 1 кг (табл. 5); это соответствует 3, 4 и 5-й группам по градации Зырина и др. [9].

При внесении навоза как по фону извести, так и без нее количество подвижного бора в почве было выше, чем в контроле и в варианте с NPK (табл. 5). Полученные данные согласуются с результатами других исследований [16, 18, 19].

При использовании одних минеральных удобрений полного состава (NPK) содержание водорастворимого бора в пахотном горизонте не только не снижалось, но даже возрастало. В подпахотном горизонте (20—40 см) на неизвесткованном фоне разница между этим вариантом и контролем была несущественной. Наиболее низким содержание подвижных форм бора в почве оказалось при длительном одностороннем применении хлористого калия как на фоне извести, так и без нее (табл. 5). Аналогичные данные имеются в литературе [2, 14]. При одностороннем применении азота и внесении его с фосфором содержание водорастворимого бора в почве, особенно в пахотном горизонте, возрастало. В варианте с одним фосфором содержание подвижного бора в почве практически не различалось с контролем и было ниже, чем в варианте с NPK (табл. 5).

Действие извести на содержание водорастворимого бора в почве зависело от состава удобрений. Так, при одностороннем применении азота

Т а б л и ц а 5

Содержание бора в дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве при 63-летнем применении удобрений разного состава (мг на 1 кг)

Вариант опыта	Глубина взятия образца, см	Водорастворимый		Общий ( $M \pm m$ )	
		без извести	по извести	без извести	по извести
Без удобрений	0—20	0,42	0,36	$31 \pm 1$	$33,5 \pm 0,5$
	20—40	0,39	0,35	$31 \pm 1$	$32 \pm 0$
N <sub>aa</sub>	0—20	0,49	0,41	$30 \pm 0$	$28,5 \pm 0,5$
	20—40	0,44	0,33	$29,5 \pm 0,5$	$28,5 \pm 0,5$
P <sub>c</sub>	0—20	0,38	0,37	$30 \pm 0$	$31 \pm 0$
	20—40	0,32	0,35	$30 \pm 0$	$31,5 \pm 0,5$
K <sub>x</sub>	0—20	0,35	0,34	$30,5 \pm 0,5$	$29 \pm 1$
	20—40	0,30	0,24	$30 \pm 0$	$30 \pm 0$
NP	0—20	0,50	0,47	—	—
	20—40	0,38	0,40	—	—
NK	0—20	0,39	0,40	—	—
	20—40	0,37	0,29	—	—
PK	0—20	0,42	0,39	—	—
	20—40	0,39	0,36	—	—
NPK	0—20	0,51	0,45	$31,5 \pm 0,5$	$30 \pm 0$
	20—40	0,41	0,40	$30 \pm 1$	$31 \pm 1$
NPK+навоз	0—20	0,63	0,58	$30 \pm 0$	$27 \pm 1$
	20—40	0,48	0,47	$30,5 \pm 0,5$	$29 \pm 1$
HCP <sub>05</sub> 0,05					

Т а б л и ц а 6

Кислотность почвы ( $pH_{\text{сол}}$ )  
после 63-летнего применения удобрений  
разного состава

Вариант опыта	Глубина взятия образца, см	Без из- вести	По из- вести
Без удобрений	0—20	4,1	6,0
	20—40	4,0	5,3
N <sub>aa</sub>	0—20	3,9	5,5
	20—40	4,0	5,4
P <sub>c</sub>	0—20	4,1	6,0
	20—40	4,1	5,7
K <sub>x</sub>	0—20	4,3	6,1
	20—40	4,1	5,5
NP	0—20	3,9	5,6
	20—40	4,0	5,3
NK	0—20	4,0	5,9
	20—40	4,1	5,6
PK	0—20	4,2	6,0
	20—40	4,2	5,6
NPK	0—20	4,1	5,6
	20—40	4,0	5,5
NPK + навоз	0—20	4,3	6,0
	20—40	4,2	5,6

вариантов на известкованном фоне колебалась от 3,9 до 4,3, а при внесении извести — от 5,3 до 6,1 (табл. 6). По-видимому, влияние извести на содержание подвижного бора в почве нельзя объяснить только изменением  $pH$  среды. Необходимо учитывать действие известкования на урожай, микробиологические и другие процессы в почве, которые могут привести к изменению подвижности бора и выноса его растениями.

В вариантах с удобрениями уменьшалось содержание общего (валового) бора в пахотном и подпахотном горизонтах (табл. 5), особенно (с 34—32 до 27—28 мг/кг) при внесении одного азота и NPK с навозом на известкованном фоне.

Снижение содержания общего (валового) бора в пахотном горизонте может быть связано с интенсивным переходом этого элемента в подвижное состояние и последующим выносом его урожаем или выщелачиванием в лежащие ниже слои. Подвижность бора (содержание водорастворимого в процентах от общего) может колебаться в значительных пределах — от 1 до 25 [3], в почвах Белоруссии показатель колебался от 0,8 до 2,8 [6]. Для данной почвы характерен сравнительно невысокий процент подвижности бора (1,1—2,1). При внесении навоза подвижность бора составляла 2,1%. На известкованном фоне в этом случае получают наиболее высокие урожаи всех культур (табл. 1 и 2). Высокий вынос бора урожаем, вероятно, и является основной причиной снижения уровня общего бора в почве при внесении NPK и навоза по сравнению с контролем (без удобрения).

Из отдельных видов удобрений аммиачная селитра в наибольшей степени способствует снижению в почве содержания общего бора. По-видимому, это связано с тем, что при нитрификации нитрата аммония, наиболее интенсивной на известкованном фоне, происходит подкисление среды, способствующее переходу бора в подвижное состояние и выщелачиванию его за пределы пахотного горизонта. При этом бор может интенсивно поглощаться растениями. Отмеченные положения в какой-то мере подтвердились в опыте с компостированием дерново-подзолистой почвы (Лесная опытная дача). Определение содержания водорастворимого бо-

на фоне извести содержание водорастворимого бора в пахотном (0—20 см) и подпахотном (20—40 см) горизонтах снижалось. В контроле, в вариантах с NPK и NPK + навоз при внесении извести содержание подвижного бора снижалось только в пахотном горизонте, а в подпахотном существенной разницы между фоном с известью и без нее не наблюдалось. При одностороннем применении калия и сочетания калия с азотом (NK) под действием извести содержание водорастворимого бора в подпахотном горизонте уменьшалось (табл. 5). В остальных вариантах известь не влияла на содержание подвижного бора в почве.

В этом опыте не наблюдалось увеличения уровня подвижного бора в почве при внесении извести, хотя разница между вариантами в кислотности ( $pH_{\text{сол}}$ ) была значительной. Кислотность почвы разных

## Содержание подвижного бора в почве после компостирования с удобрениями (мг на 1 кг)

Вариант опыта	Сроки взятия проб		
	8/VII	8/VIII	8/IX
1 — без удобрений + известь (фон)	0,64	0,41	0,41
2 — NPK	0,65	0,50	0,42
3 — N <sub>2</sub> PК	0,72	0,69	0,69
4 — N <sub>3</sub> PК	0,79	0,74	0,71
5 — N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	0,80	0,82	0,88
HCP <sub>05</sub>	0,05	0,05	0,05

ра после компостирования с удобрениями показало (табл. 7), что в 1-й месяц известь оказала слабое действие на содержание подвижного бора в почве как без применения удобрений, так и при внесении одинарных доз питательных веществ (варианты 1 и 2). Содержание его в почве этих вариантов по сравнению с исходным (0,68 мг/кг) изменилось незначительно. На 2-й и 3-й месяц его количество по сравнению с исходным снизилось в 1,4—1,6 раза. Причем при внесении удобрений (NPK) на 2-й месяц содержание подвижного бора уменьшилось менее значительно, чем в почве без удобрений (табл. 7).

Повышение дозы азота (внесенного в виде аммиачно-нитратных удобрений) по сравнению с контролем и одинарной дозой азота привело к увеличению содержания подвижного бора во все сроки взятия проб. Так, через 3 мес содержание водорастворимого бора в почве при повышенных дозах азота было в 1,6—1,7 раза выше, чем при одинарной. Это можно объяснить подкисляющим действием аммиачной формы азота в результате нитрификации, так как в кислой среде способность извести увеличивать фиксацию бора почвами уменьшается [3]. Определение  $pH_{\text{сол}}$  вытяжки и гидролитической кислотности в компостированной почве показало, что это подкисление было значительным (табл. 8). Поскольку дозы азота были очень высокие, известкование по половинной норме гидролитической кислотности не оказало существенного противодействия подкисляющей силе аммиачного азота.

Содержание подвижного бора было наиболее высоким при внесении тройных доз азота, фосфора и калия (табл. 7). Возможно, в этом случае не только сказалось подкисляющее действие азота, но и улучшились общая биологическая и химическая активности почвы, что привело к более интенсивному переходу бора в подвижное состояние. В варианте с N<sub>3</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub> содержание подвижного бора в пробах через 2 и 3 мес было значительно большим, чем при утроенной дозе одного азота. Применение высоких доз азота, фосфора и калия создавало таким образом благоприятные условия питания растений не только основными элементами, но и

Т а б л и ц а 8

## Кислотность почвы после компостирования с удобрениями в разные сроки взятия проб

Вариант опыта	8/VIII		8/IX	
	$pH_{\text{сол}}$	$H_{\Gamma}$ , мэкв/100 г	$pH_{\text{сол}}$	$H_{\Gamma}$ , мэкв/100 г
1 — без удобрений + известь (фон)	5,0	3,21	5,0	3,14
2 — NPK	5,0	3,26	4,8	3,42
3 — N <sub>2</sub> PК	4,8	3,48	4,4	4,63
4 — N <sub>3</sub> PК	4,5	4,30	4,2	5,14
5 — N <sub>3</sub> P <sub>3</sub> K <sub>3</sub>	4,6	4,20	4,2	4,93

Содержание водорастворимого бора в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве и ее кислотность после 5 лет применения повышенных и высоких доз бесподстилочного навоза и минеральных удобрений

Глубина взятия образца, см	Без удобрений (контроль)	Навоз (2 нормы) = $N_{240}$	Навоз (5 норм) = $N_{600}$	НРК эквивалентен 2 нормам навоза	НРК эквивалентен 1 норме навоза + навоз (1 норма)
Водорастворимый бор, мг/кг					
0—20	0,47	0,61	0,71	0,48	0,56
20—40	0,45	0,51	0,55	0,41	0,42
40—60	0,48	0,38	0,50	0,35	0,35
60—80	0,25	0,29	0,35	0,25	0,25
80—100	0,20	0,21	0,22	0,20	0,20
	НСР <sub>05</sub>	0,06			
pH <sub>сол</sub>					
0—20	5,9	6,0	6,4	5,6	6,0
20—40	4,3	4,7	5,0	4,4	4,6
40—60	4,2	4,0	4,3	4,1	4,2
60—80	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
80—100	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9

бором. Вместе с тем образование значительных количеств подвижного бора будет способствовать его удалению из почвы путем вымывания (как водорастворимой формы) и выноса растениями. При длительном применении повышенных и высоких доз минеральных удобрений может происходить обеднение почв общим (валовым) бором.

Исследования почвенных образцов другого стационарного опыта (ЦОС ВИУА в Барыбино) подтвердили выводы о том, что применение органических удобрений способствует накоплению водорастворимого бора в почве. При этом с повышением дозы органического удобрения увеличивалось и содержание подвижного бора в почве (табл. 9). В этом опыте применение высоких доз органических удобрений даже за короткий срок (5 лет) привело к изменению содержания подвижного бора не только в пахотном и подпахотном горизонтах, но и в лежащих ниже, вплоть до 60—80 см.

В вариантах с минеральными удобрениями содержание водорастворимого бора в пахотном и подпахотном горизонтах мало отличалось от контроля и было ниже, чем в вариантах с 2 и 5 нормами навоза.

В слое 40—60 см содержание подвижного бора под действием органических и минеральных удобрений снизилось по сравнению с контролем и только в случае применения высокой нормы навоза разницы не было. Результаты этого опыта показывают, что под действием применяющихся удобрений можно ожидать изменения в содержании бора по крайней мере до глубины 60 см.

За время опыта наметилась некоторая разница по кислотности почв между вариантами с минеральными удобрениями и вариантами с навозом. Наибольшая разница наблюдалась между вариантами с НРК и вариантом, где навоз применялся в высокой дозе (5 норм). Внесение минеральных удобрений способствовало подкислению пахотного и подпахотного горизонтов.

Расчет коэффициента корреляции кислотности и содержания подвижного бора в условиях этого опыта показал хорошую взаимную связь между этими показателями ( $r \pm Srt_{05} = 0,828 \pm 0,242$  при  $n - 2 = 23$ ).

Содержание общего бора определяли для слоя 0—20 см и 20—40 см в образцах почвы трех вариантов этого опыта (без удобрений; НРК в количестве, эквивалентном двойной норме навоза; навоз 5 норм). Под действием удобрений содержание общего бора в почве несколько снижалось.

Влияние 13-летнего применения разных систем удобрения на кислотность почвы и содержание в ней бора

Варианты опыта	Глубина взятия об- разца, см	рН <sub>сол</sub>	Содержание бора, мг/кг	
			водораствори- мого	общего
Без удобрений	0—20	5,5	0,30	38
	20—40	4,7	0,25	36
10 т/га навоза	0—20	5,6	0,42	39
	20—40	5,0	0,30	36
NPK	0—20	5,1	0,34	38
	20—40	4,5	0,26	38
0,5 нормы NPK + 0,5 нормы навоза	0—20	5,2	0,36	—
	20—40	4,7	0,28	—
		HCP <sub>05</sub>	0,08	

Так, в почве без удобрения в слое 0—20 см содержание валового бора составляло 40 мг в 1 кг, в слое 20—40 см — 39 мг, а при внесении высоких доз навоза — соответственно 36 и 34 мг.

В опыте, проводившемся в учхозе «Дубки», за 13 лет применения умеренных доз навоза (10 т/га) и минеральных удобрений (N<sub>75</sub>P<sub>73</sub>K<sub>100</sub>) количество водорастворимого бора в последнем случае практически не изменялось, а в первом увеличивалось (табл. 10).

В этом опыте, как и в предыдущем, наблюдалось подкисление почвы под действием минеральных удобрений. Расчет коэффициента корреляции рН<sub>сол</sub> и содержания подвижного бора в почве этого опыта показал недостаточную его существенность ( $r \pm Srt_{05} = 0,804 \pm 0,593$  при  $n - 2 = 6$ ).

Применение умеренных доз удобрений в течение 13 лет не оказало существенного влияния на содержание общего бора в почве (табл. 10).

### Выводы

1. При длительном применении минеральных и органических удобрений наблюдались различия в накоплении бора в почве, характер которых зависел от состава удобрений, доз и продолжительности их действия.

2. Применение органических удобрений способствовало обогащению почвы подвижным бором, что особенно заметно при повышении доз удобрений.

3. В результате длительного применения (63 года) минерального удобрения (NaaPcKx) повышалось содержание водорастворимого бора в почве, а при малой продолжительности действия (13 лет) наблюдалась лишь тенденция к его повышению.

4. Одностороннее применение хлористого калия приводило к снижению содержания подвижного бора в почве, а одностороннее применение нитрата аммония — к его увеличению.

5. При краткосрочном (5 лет) применении высоких доз органических удобрений (бесподстилочного навоза) изменялось содержание водорастворимого бора не только в пахотном и подпахотном горизонтах, но и в лежащих ниже слоях.

6. При длительном (27 лет) применении извести в зависимости от состава других удобрений содержание водорастворимого бора в почве либо несколько снижалось, либо вообще не изменялось.

7. Длительное применение удобрений, подкисляющих почву (аммиачная форма азотных), а также удобрений, способствующих получению высоких урожаев (NPK в сочетании с навозом и известью), приводило к снижению содержания в почве общего бора.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М., «Наука», 1975.—2. Важеннин И. Г., Беляков В. И. Эффективность микроудобрений на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах. Тр. Соликамской оп. ст., т. 1, 1953, с. 191—214.—3. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., Изд-во АН СССР, 1950.—4. Доспехов Б. А. Плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность растений в условиях систематического применения удобрений. Автореф. докт. дис. М., ТСХА, 1968.—5. Доспехов Б. А., Киришин Б. Д., Братерская А. Н. Действие 60-летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборота на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы. «Агрохимия», 1976, № 4, с. 3—14.—6. Дубиковский Г. П. Закономерности распределения микроэлементов в почвах Белорусской ССР и их влияние на растения. Автореф. докт. дис. Каунас, 1975.—7. Егоров В. Е. Опыт длится 60 лет. М., «Наука», 1972.—8. Зырин Н. Г., Обухов А. И., Белицина Г. Д. Методические указания по спектрографическому определению микроэлементов в почвах и золе растений. Изд-во МГУ, 1971.—9. Зырин Н. Г., Важеннин И. Г., Дубиковский Г. П., Зборищук Ю. Н. Состояние и задачи картографирования содержания микроэлементов в почвах СССР. В кн.: Физиологическая роль и практическое применение микроэлементов. Рига, 1976, с. 237—246.—10. Каталымов М. В. Микроэлементы и микроудобрения. М.—Л., «Химия», 1965.—11. Кедров-Зихман О. К. Известкование почв и применение микроэлементов. М., Сельхозгиз, 1957.—12. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений. Составители Луинович И. С., Дубиковский Г. Д., Федотов В. Л. и др. Минск, Изд-во БГУ, 1970.—13. Мамченков И. П., Семенов П. Я., Платонова Л. Г. Влияние бесподстилочного навоза на урожай кукурузы и содержание в ней азотистых соединений. «Агрохимия», 1977, № 3, с. 72—78.—14. Никишкина П. И., Долгополова Р. В. Почвенные условия эффективности борных удобрений. «Почвоведение», 1964, № 11, с. 70—78.—15. Чурбанов В. М., Палилова И. И. Фотоколориметрический метод определения бора с использованием хинализорина. «Агрохимия», 1966, № 6, с. 129—132.—16. Ушакова В. Ф. Обеспеченность почв бором, молибденом и марганцем при длительном применении органических и минеральных удобрений. В кн.: Удобрение и плодородие почв. М., «Колос», 1966, с. 189—262.—17. Atkinson H. J., Giles G. R., Desjardins J. G. "Plant a soil", 1958, vol. 1 (10), p. 32—36.—18. Barzczak T. "Roczniki gleboznawcze". Warszawa, 1965, t. XV, z. 1, s. 137—166.—19. Dobrzanski B. "Roczniki gleboznawcze", 1960, dodatek de t. 9, s. 129—130.—20. Maurice J., Trocme S. "Ann. agron.", 1965, 16 (5), p. 579—593.

*Статья поступила 19 сентября 1978 г.*

## SUMMARY

The amount of total and water soluble boron was determined in the soil samples of three stationary trials.

In continuous application of mineral and organic fertilizers there were some variations in boron accumulation in the soil depending on the composition of fertilizers, the rate and the duration of their action. The application of organic fertilizers contributed to enriching the soil with mobile boron. After a long period (63 years) of application of mineral fertilizer ( $N_{aa}P_cK_x$ ) the amount of water soluble boron in the soil increased, while after a short period (13 years) there was only a tendency to such increase. One-sided application of potash chloride resulted in lower amount of mobile boron in the soil, while one-sided application of ammonium nitrate resulted in its higher amount. Depending on the composition of their fertilizers, the amount of mobile boron in the soil under continuous (27 years) application of lime either became somewhat lower or did not change at all.