

Динамика показателей плодородия чернозема  
выщелоченного при длительном применении  
удобрений в севообороте с сахарной свеклой, 1936-  
2010 гг.

О.А. Минакова, д. с.-х. н.  
ГНУ Всероссийский научно-  
исследовательский институт сахарной  
свеклы им. А.Л. Мазлумова  
Россельхозакадемии

Стационарный опыт посвящен изучению влияния применения удобрений на урожайность культур севооборота с сахарной свеклой и плодородие чернозема выщелоченного. Опыт заложен в 1936 году на Рамонской опытно-селекционной станции по сахарной свекле (в настоящее время - ГНУ Всероссийский НИИ сахарной свеклы им. А. Л. Мазлумова. Представленные в таблицах данные относятся к в 2000-2008 гг. (8 ротация 9-польного севооборота). Территория относится к подзоне неустойчивого увлажнения лесостепной климатической зоны среднее количество осадков за год – 624 мм, среднегодовая температура + 8,1 °С. Чередование культур в севообороте: черный пар - озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень- травы – озимая пшеница – сахарная свекла – горох – овес.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднесплодный тяжелосуглинистый на тяжелом карбонатном суглинке. Вносится азофоска (NPK=16:16:16) и полуразложившийся навоз КРС 1 раз за ротацию в черном пару.

Таблица 1. – Схема стационарного опыта по внесению минеральных удобрений и навоза в зерносвекловичном севообороте

№ варианта	Минеральные удобрения под сахарную свёклу, кг/га			Навоз в чистом пару, т/га	Уровень насыщенности 1 га севооборотной площади удобрениями, NPK – кг, навоз – т			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Навоз
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	45	60	45	25	10	13	10	2,8
3	90	120	90	25	20	27	20	2,8
4	135	180	135	25	30	40	30	2,8
5	45	60	45	50	10	13	10	5,6
6	120	120	120	50	33	33	33	5,6
7	190	190	190	0	42	42	42	0

Таблица 2. – Динамика содержания общего гумуса в черноземе выщелоченном, слой 0-20 см (Минакова О.А., Громовик А.И., 2008)

вариант	Общее содержание гумуса, %	Запасы гумуса, т/га	Потери относительно целины, %	Увеличение в результате применения удобрений, %
Целина	6,10	137	0	0
Без удобрений	4,89	110	-1,21	0
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза в пар	5,11	115	-0,99	0,22
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза в пар	5,21	117	-0,89	0,32
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	5,37	120	-0,73	0,48
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза в пар	5,72	124	-0,38	0,83
$N_{120}P_{120}K_{120} + 25$ т/га навоза в пар	5,75	130	-0,32	0,86
$N_{190}P_{190}K_{190}$	5,61	126	0,49	0,72

Таблица 3. – Групповой и фракционный состав гумуса при длительном применении удобрений, слой 0-20 см (Минакова О.А., Громовик А.И., 2008).

Вариант	Гуминовые кислоты			Фульвокислоты				Гумин
	ГК1	ГК2	ГК3	ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3	
Без удобрений	3,19	25,2	7,27	1,78	4,07	7,17	2,22	38,7
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза	4,12	23,6	8,92	1,66	3,64	6,89	2,08	49,1
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза	4,16	23,7	8,87	1,68	3,65	6,89	2,12	49,1
N <sub>135</sub> P <sub>180</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	4,18	23,6	8,95	1,68	3,66	6,93	2,09	49,0
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 50 т/га навоза	4,33	23,8	9,10	1,23	3,87	6,87	1,80	48,9
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + 25 т/га навоза	4,35	23,7	9,23	1,28	3,87	6,91	1,69	49,0
N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	4,31	21,6	9,24	2,10	4,00	7,17	2,83	48,8
HCP <sub>05</sub>	0,05	0,05	0,08	0,07	0,05	0,07	0,08	-

Таблица 4. – Прогноз содержания гумуса, %, относительно 2008 г.,  
нарастающим итогом

Вариант	Годы				
	2010	2020	2030	2040	2050
Контроль	-0,05	-0,08	-0,11	0,14	-0,17
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза в пар	0,0	-0,02	-0,05	-0,07	-0,09
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза в пар	0,0	-0,02	-0,04	-0,06	-0,08
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза в пар	0,0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза в пар	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза в пару	+0,01	0,0	-0,01	-0,02	-0,03

Таблица 5. –Содержание N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в почве под сахарной свеклой, слой 0-60 см, 8 ротация, 2000-2008 гг.

Варианты	Звено с черным паром		Звено с многолетними травами	
	Начало вегетации	Перед уборкой	Начало вегетации	Перед уборкой
Без удобрений	0,90	0,31	0,94	0,31
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза в пар	1,21	0,34	1,01	0,34
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза	1,64	0,35	1,23	0,42
N <sub>135</sub> P <sub>180</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	1,56	0,38	1,64	0,40
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 50 т/га навоза	1,34	0,35	1,13	0,32
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + 25 т/га навоза	1,33	0,33	1,23	0,42
N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	2,16	0,42	1,82	0,48
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,05		

Рис. 1

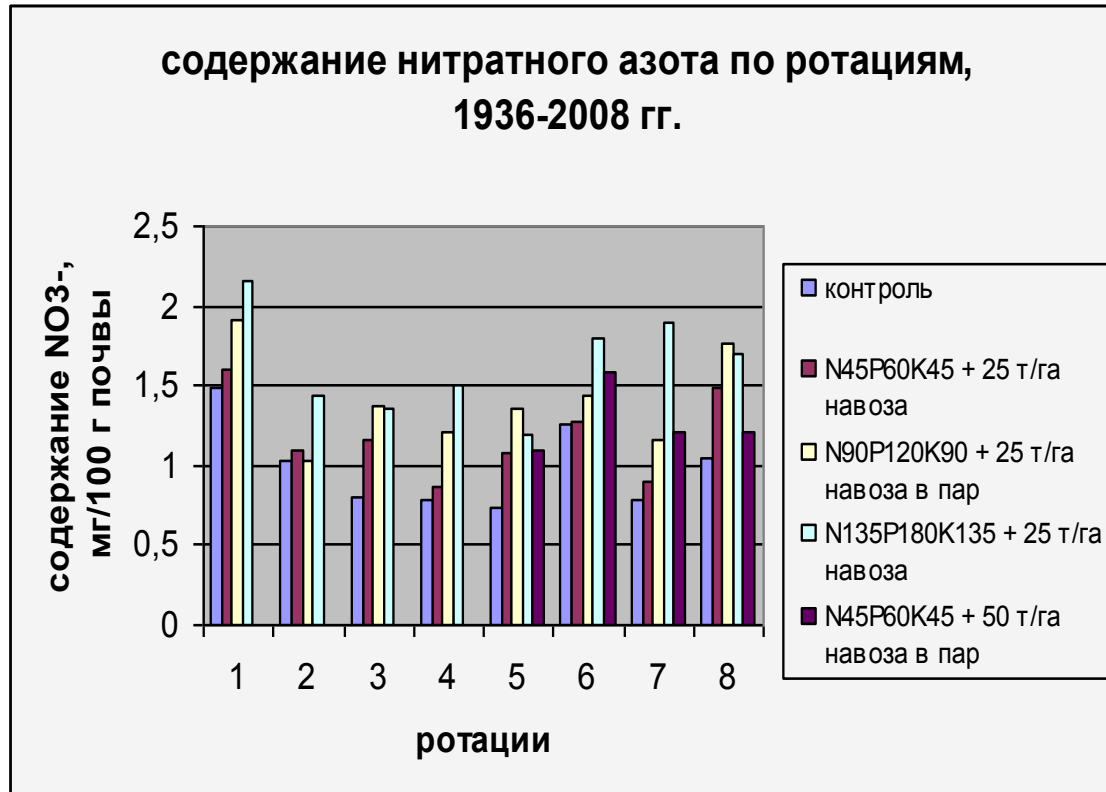




Таблица 6. – Прогноз содержания общего азота, %

Вариант	2020	2030	2040	2050
Контроль	0,231	0,225	0,218	0,212
$N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза	0,260	0,258	0,255	0,252
$N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза	0,256	0,253	0,250	0,247
$N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза	0,270	0,269	0,268	0,266
$N_{45}P_{45}K_{45} + 50$ т/га навоза	0,269	0,268	0,266	0,265

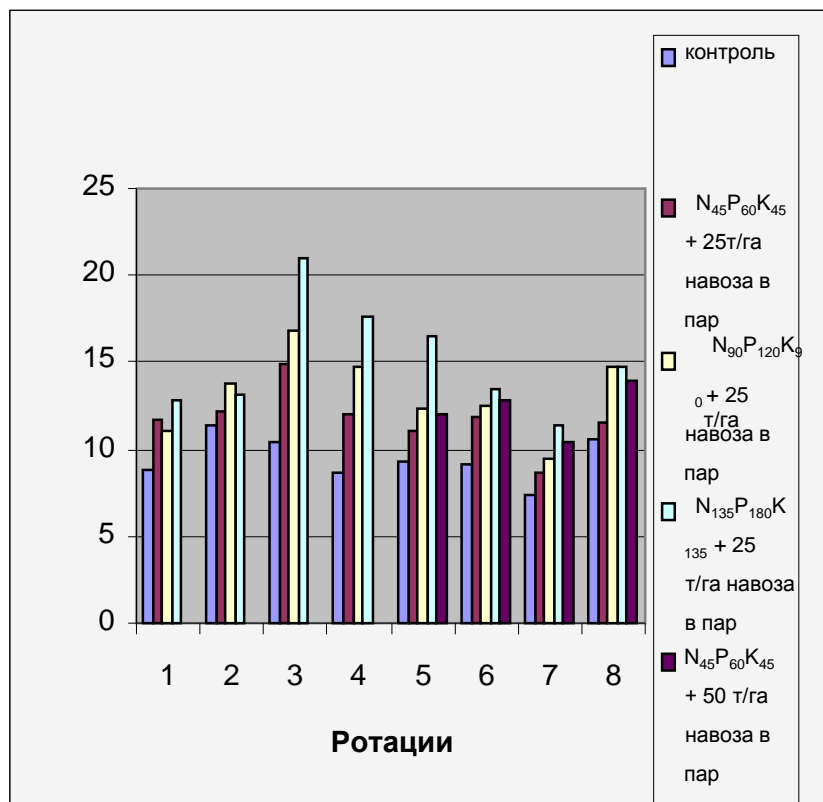
Таблица 7. – Содержание подвижного  $P_2O_5$  в слое 0-40 см под сахарной свеклой

Вариант	Звено с черным паром		Звено с многолетними травами	
	Начало вегетации	Перед уборкой	Начало вегетации	Перед уборкой
Без удобрений	8,84	8,27	8,75	8,70
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза	10,4	10,8	10,9	10,3
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза	12,8	13,0	11,7	13,6
N <sub>135</sub> P <sub>180</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	13,6	13,9	14,2	14,8
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 50 т/га навоза	12,9	11,3	11,3	11,8
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + 50 т/га навоза	11,8	10,9	11,7	11,6
N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	13,0	11,5	12,5	11,5

Таблица 8. – Групповой состав фосфатов и поглощение  $P_2O_5$  почвой, 2006-2008 гг., слой 0-20 см

Вариант	Валовой $P_2O_5$ , %	1 0,05 н. $H_2O + CO_2$	2 0,5 н. $CH_3COO H$	3 0,5 н. $HCL$	4 3,0 н. $NH_4OH$	Остаток	Минеральные фосфаты, % от вал.	Поглощение $P_2O_5$ , мг/100 г
Без удобрений	0,143	0,7	11,7	7,1	39,0	41,5	19,5	0,75
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	0,164	0,7	10,8	7,9	46,4	34,3	19,4	0,62
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	0,169	0,9	10,2	8,1	49,4	31,4	19,2	0,43
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	0,173	1,1	9,1	8,5	53,8	27,6	18,6	0,64
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	0,169	0,5	12,3	8,0	53,1	26,1	20,8	0,43
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	0,178	0,8	12,1	9,1	57,3	20,8	19,3	0,46
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0,177	1,2	8,1	9,2	47,6	33,9	18,5	0,50
$HCP_{05}$	0,011	0,1	0,7	0,6	3,5	-	-	0,05

**Рис. 2. Содержание  $P_2O_5$  в почве стационарного опыта, слой 0-20 см, 1-8 ротации**



**Таблица 9. — Уравнения регрессии для расчета содержания  $P_2O_5$  в почве, мг/100 г почвы (Y), X - число лет от момента исследований**

Вариант	Уравнение
Без удобрений	$Y = 10,6 - 0,19X$
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	$Y = 12,4 - 0,12X$
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	$Y = 12,6 + 0,07X$
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	$Y = 14,2 + 0,26X$
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	$Y = 11,8 + 0,07X$
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	$Y = 12,15 + 0,13X$

Таблица 10. – Содержание подвижного  $K_2O$  в почве под сахарной свеклой, слой 0-40 см, 2000-2008 гг.

Вариант	Звено с черным паром		Звено с многолетними травами	
	Начало вегетации	Перед уборкой	Начало вегетации	Перед уборкой
Без удобрений	10,7	9,6	10,3	8,3
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	12,1	10,5	11,1	8,9
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	12,6	11,5	11,6	9,7
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	13,1	13,5	13,6	10,1
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	13,8	11,4	12,6	10,5
$N_{120}P_{120}K_{120} + 50$ т/га навоза	13,6	11,1	12,5	10,3
$N_{190}P_{190}K_{190}$	12,6	10,2	11,9	9,9

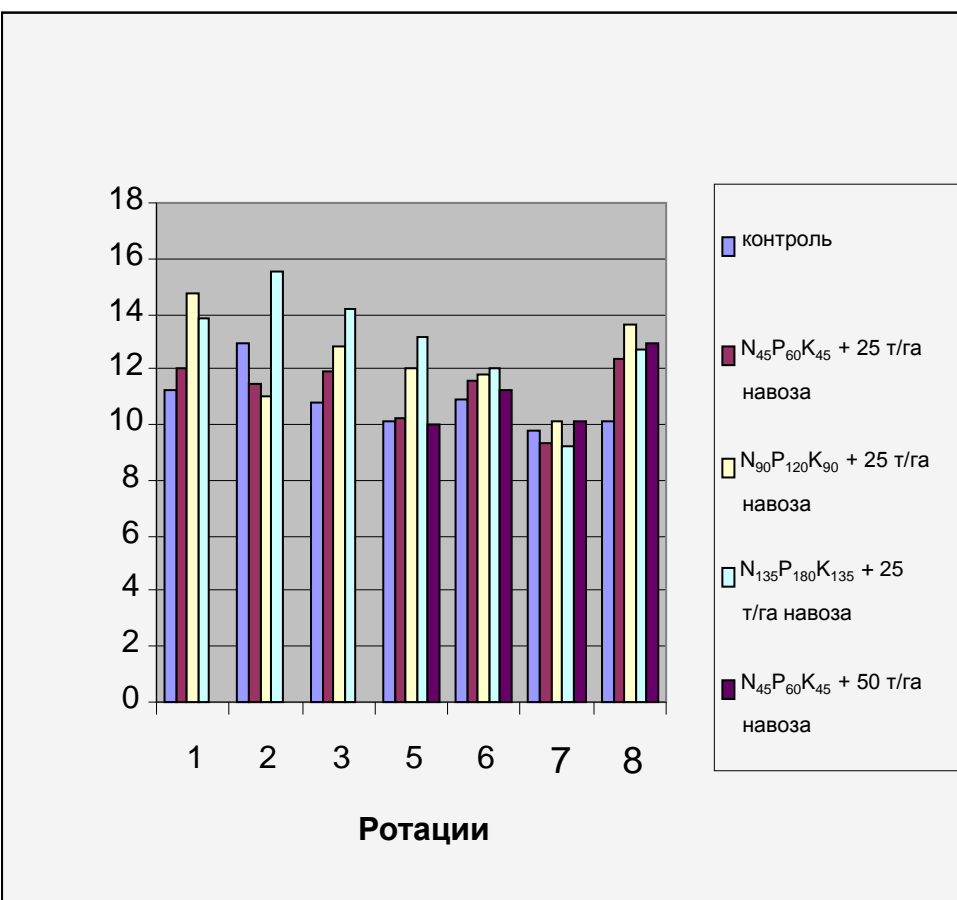
Таблица 11. – Степень подвижности калия

Вариант	Концентрация кислоты, н				
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,4
Без удобрений	0,008	0,012	0,029	0,043	0,245
$N_{45}P_{90}K_{45}+$ 25 т/га навоза	0,001	0,026	0,045	0,057	0,455
$N_{90}P_{120}K_{90}+$ 25 т/га навоз	0,0023	0,022	0,070	0,112	0,344
$N_{135}P_{180}K_{135}+$ 25 т/га навоза	0,004	0,025	0,048	0,063	0,277
$N_{45}P_{60}K_{45}+$ 50 т/га навоза	0,004	0,028	0,059	0,061	0,365
$N_{120}P_{120}K_{120}+$ 50т/га навоза	0,006	0,022	0,059	0,136	0,410
$N_{190}P_{190}K_{190}$	0,005	0,022	0,047	0,081	0,114

Таблица 12. – Формы калия чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений (О.А. Минакова, О.В. Кустова, 2011).

Вариант	Водораствори- мый K <sub>2</sub> O	Обменный K <sub>2</sub> O (1.0 н. CH <sub>3</sub> COONH <sub>3</sub> )	Необменный K <sub>2</sub> O	Валовой K <sub>2</sub> O, %
Без удобрений	5,9	19,4	530	2,16
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза в пар	4,65	21,6	651	2,21
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза в пар	6,0	24,8	622	2,32
N <sub>135</sub> P <sub>180</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	5,2	26,1	586	2,28
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 50 т/га навоза в пар	5,6	26,6	523	2,24
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + 25 т/га навоза в пар	5,85	22,4	532	2,15
N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	4,5	25,8	538	2,32

**Рис. 3. Содержание обменного K<sub>2</sub>O в почве, 1-8 ротации**



**Таблица 13. —Уравнения регрессии для расчета содержания K<sub>2</sub>O в почве, мг/100 г почвы (Y), X - число лет от момента исследований**

Варианты	Уравнение
Без удобрений	$Y = 13,1 - 0,12X$
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза	$Y = 13,8 - 0,20X$
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза	$Y = 15,3 - 0,13X$
N <sub>135</sub> P <sub>180</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	$Y = 16,5 - 0,22X$
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 50 т/га навоза	$Y = 11,7 + 0,06X$
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + 50 т/га навоза	$Y = 12,4 + 0,08X$



Таблица 14. – Показатели физико-химических свойств чернозема  
выщелоченного, слой 0-40 см

вариант	$pH_{H_2O}$	$pH_{KCl}$	Нг.	S	V, %
Без удобрений	5,9	5,5	3,22	27,9	89
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза	6,0	5,5	3,26	28,9	90
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза	5,8	5,1	4,24	27,5	86
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза	5,3	4,8	4,89	27,3	86
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза	6,3	5,7	3,31	28,7	90
$N_{120}P_{120}K_{120} + 25$ т/га навоза	5,5	5,0	5,14	27,5	84
$N_{190}P_{190}K_{190}$	5,3	4,5	5,34	26,7	90

Рис. 3 - 4

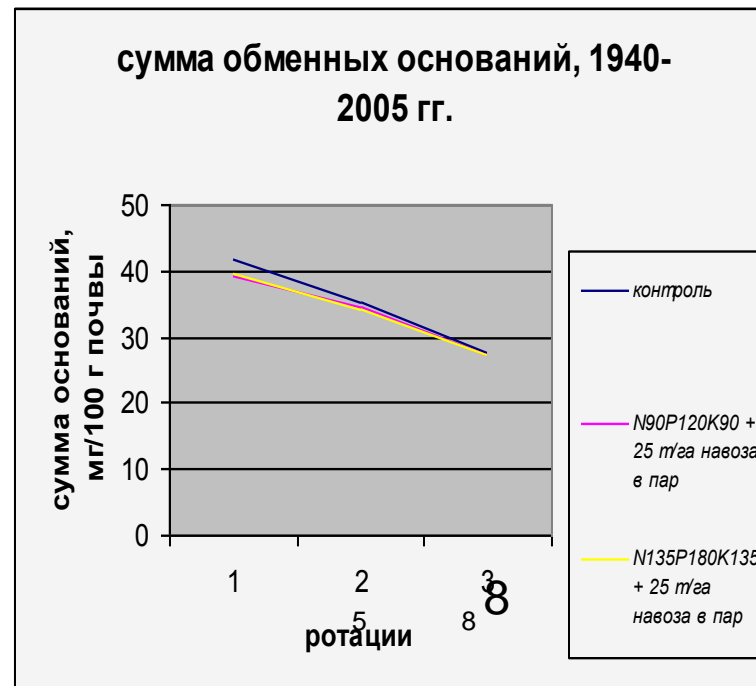
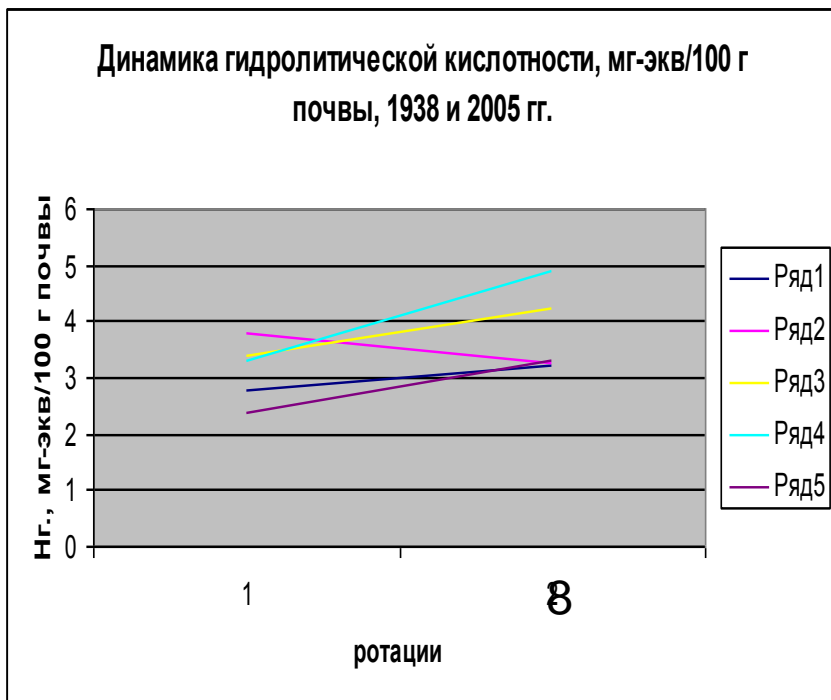


Таблица 15. –Прогноз гидролитической кислотности на различных фонах удобрённости

Вариант	Уравнение линейной регрессии	R
контроль	$Y = 3,00 + 0,03X$	0,65
$N_{45}P_{60}K_{45} + 25$ т/га навоза в пар	$Y = 3,31 + 0,09X$	0,81
$N_{90}P_{120}K_{90} + 25$ т/га навоза в пару	$Y = 3,74 + 0,31X$	0,57
$N_{135}P_{180}K_{135} + 25$ т/га навоза в пар	$Y = 3,60 + 0,07X$	0,78
$N_{45}P_{60}K_{45} + 50$ т/га навоза в пар	$Y = 2,63 + 0,07X$	0,75

X – число лет от момента исследований  
(2005 г.)

Таблица 16. –Содержание и подвижность микроэлементов в почве стационарного опыта, слой 0-20 см, 2008-2010 гг.

Варианты	Содержание подвижных форм в почве, мг/кг почвы					Подвижность, %		
	Zn	Cu	As	Mo	B	Zn	Co	Mn
Без удобрений	0,68	0,32	0,64	0,125	0,76	11,8	5,85	18,1
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 25 т/га навоза	0,82	0,43	0,63	0,15	0,80	10,3	5,71	17,3
N <sub>90</sub> P <sub>120</sub> K <sub>90</sub> + 25 т/га навоза	0,84	0,55	0,65	0,25	0,58	12,3	6,68	17,4
N <sub>135</sub> P <sub>180</sub> K <sub>135</sub> + 25 т/га навоза	0,85	0,60	0,64	0,26	0,60	13,3	6,70	17,7
N <sub>45</sub> P <sub>60</sub> K <sub>45</sub> + 50 т/га навоза	0,95	0,54	0,81	0,45	1,00	12,2	5,60	17,4
N <sub>190</sub> P <sub>190</sub> K <sub>190</sub>	1,00	0,67	0,79	0,40	1,11	12,9	5,85	18,8
НСР <sub>05</sub>	0,16	0,18	-	0,475	0,76	-	-	-
ПДК	23,0	3,0	10,0	-	-	-	-	-

Таблица 16. - Биохимическая активность  
чернозема выщелоченного,  
слой 0-20 см, 2006-2008 гг.

Вариант	Целлюло- зоразлага- ющая актив- ность, %	Уреаза , мг $\text{NH}_3^+$ / 1 г почвы/ 24 ч	Проте- аза мг глицина на 1 г почвы/2 4 ч	Нитратре- дуктаза мг $\text{NO}_3^-$ на 10 г почвы в сутки	Фосфат- аза, мг $\text{P}_2\text{O}_5/10$ г почвы/1 час	Инве- ртаза мг глюкоз ы/1г почвы/ 24ч	Катала- за мл $\text{O}_2/1$ г почвы/ 1 мин
Без удобрений	12,4	0,56	0,21	0,13	0,26	28,4	1,15
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{45} + 25$ т/га навоза	13,6	0,68	0,24	0,16	0,28	29,3	1,41
$\text{N}_{90}\text{P}_{120}\text{K}_{90} + 25$ т/га навоза	11,4	0,61	0,22	0,12	0,17	28,3	1,12
$\text{N}_{135}\text{P}_{180}\text{K}_{135} + 25$ т/га навоза	16,4	0,50	0,23	0,14	0,15	28,4	1,18
$\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{45} + 50$ т/га навоза	26,5	0,79	0,24	0,17	0,15	27,6	1,39
$\text{N}_{190}\text{P}_{190}\text{K}_{190}$	36,4	0,66	0,31	0,12	0,21	30,4	1,24
$\text{HCP}_{05}$	1,6	0,05	0,02	0,01	0,01	-	0,09

## ВЫВОДЫ

- Более чем 70 летнее применение удобрений на черноземе выщелоченном приводит к качественным изменениям его плодородия, выражающимся в росте содержания подвижных форм основных элементов питания, подвижности их средне- и прочносвязанных форм, подвижных и валовых форм микроэлементов, а также гуминовых кислот, форм кислотности, валового содержания калия и фосфора. При этом снижается активность фосфазаты, содержание фульвокислот, суммы поглощенных оснований. Происходит стабилизация общего гумуса и азота.
- Наилучшие параметры почвенного плодородия, обеспечивающие получение 38,3-41,3 т/га корнеплодов сахарной свеклы отечественной селекции, 3,52-4,24 т/га зерна озимой пшеницы и 2,67-3,48 т/га зерна ячменя создаются систематическим применением  $N_{135}P_{180}K_{135}$  под свеклу на фоне 25 т/га навоза в пару,  $N_{120}P_{120}K_{120} + 50$  т/га навоза в пар в звене с черным паром и  $N_{45}P_{120}K_{45} + 25$  т/га навоза в пар в звене с многолетними травами.