

6. Дериглазова Г.М. Влияние природных и антропогенных факторов на урожай и качество зерна ярового ячменя // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 43-45.
7. Жуков Ю.П., Чухина Н.В., Токарева Н.В., Куликова Е.И. Влияние различных доз удобрений на урожайность культур севооборота и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Плодородие. – 2015. – № 2. – С. 14 – 20.
8. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические проблемы современного земледелия // Экологические функции агрохимии в современном земледелии. – М.: ВНИИА, 2008. – С. 3-10.
9. Никитенко Г.Ф. Опытное дело в полеводстве. – М.: Россельхозиздат., 1982. – 187 с.
10. Пестряков А.М. Динамика агрохимических свойств темно-серой лесной почвы при применении удобрений в различных севооборотах

- // Результаты длительных исследований в системе Географической сети с удобрениями Российской Федерации (к 70-летию Геосети) / Под ред. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2011. – С. 203-211.
11. Полянский С.Я., Маркова В.Е., Пестряков А.М. и др. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Рязанской области – модель XXI столетия / Под ред. С.Я. Полянского. – Рязань, 2000. – 409 с.
12. Радов А.С., Пустовой И.В., Корольков А.В. Практикум по агрохимии / Под ред. И.В. Пустового. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 312 с.
13. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // Плодородие. – 2017. – № 1. – С. 1-4.
14. Сычев В.Г., Шафран С.А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. – 2019. – № 2. – С. 22-25.

MINERAL NUTRITION LEVEL AND NUTRITION ELEMENT WITHDRAWAL SPRING BARLEY IN THE CONDITIONS OF THE RYAZAN REGION

O.A. Artyukhova, Ph.D. O.V. Gladysheva, V.A. Svirina
The Institute of Seed Production and Agrotechnology – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution
«Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (ISA – branch of FSBIUs VIM),
Ryazan region, Ryazan city, with. Garter, st. Parkovaya, 1
E-mail: oksana.sukhryakova@mail.ru

The results of the experiment on the influence of various doses of mineral nutrition on the dynamics of the total nitrogen, phosphorus and potassium content in the arable layer (0-20 cm) of gray forest loamy soil in the conditions of the south of the Central Non-Black Earth Region are presented. The removal of nutrients by the main products is determined taking into account the by-product. The maximum percentage of consumption was in nitrogen (125.9 % more than phosphorus and 12.9 % more than potassium). That is, one of the ways to increase the yield of spring barley is to improve the nitrogen nutrition of crop plants.

The introduction of mineral fertilizers contributed to an increase in the yield of spring barley varieties Vladimir, Nadezhny and Yaromir. The use of the minimum dose (NRK)30 provided an increase of this indicator from 0.43 to 1.07 t / ha, which on average for 3 years amounted to 31.8 %, while (NRK)60 and (NRK)90 – 62.4 and 73.8 %, respectively, to the absolute control. Correlation coefficient (r) of crop productivity from fertilizer norms for 2017-2019. ranged from +0.81 to +0.95.

The balance of nutrients was calculated and a comparison was made with their actual content in the soil. It was revealed that the use of mineral fertilizers leads to a positive, close to zero balance of elements or a decrease in negative values. So, the actual content of total nitrogen over an average of three years for all varieties increased to 0.206 % (NPK)30, 0.210 % (NPK)60 and 0.203 % (NPK)90 in comparison with the control (0.195 %). The potassium content was 136.0 (NRK)30, 147.1 (NRK)60 and 143.3 (NRK)90 mg/kg of soil, while in the control 164.9 mg/kg; phosphorus on fertilized variants 221.5 (NRK)30, 226.6 (NRK)60 and 229.4 (NRK)90 mg/kg of soil, in the control variant 233.4 mg/kg of soil. Significant losses from the soil of these nutrients are associated with a large removal of the main and by-products.

Keywords: mineral fertilizers, productivity, fertility, varieties of spring barley, stem, balance sheet ratios.

УДК 631.81:631.582:631.4

DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.03

ДЕЙСТВИЕ И ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА И АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ

А.М. Конова, к.с.-х.н., А.Ю. Гаврилова, к.б.н., ФГБНУ ФНЦ ЛК

Особенности влияния длительного (в течение 51 года) применения возрастающих доз минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборота изучались в полевом стационаре. В среднем за восемь ротаций севооборота наибольшая урожайность была получена в варианте с внесением минеральных удобрений в максимальной дозе N₁₆₀P₁₆₀K₂₀₀. Она составила 35,0 ц/га з. е., прибавка к контролю – 15,0 ц/га з.е., или 75%. Удобрения также благоприятно влияли на накопление гумуса в почве. Кислотность почвы при увеличении минеральных доз, наоборот, ухудшилась с 4,7 до 4,3 единиц. Повышенные дозы удобрений улучшили фосфорный и калийный почвенный фон до 180 и 129 мг/кг почвы соответственно.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, севооборот, продуктивность, минеральные удобрения, полевой стационар.

Для цитирования: Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Действие и последствие длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели почвы // Плодородие. – 2021. – №4. – С. 10-13. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.03.

Почвы дерново-подзолистого подтипа имеют низкое потенциальное плодородие, применение минеральных удобрений – один из наиболее существенных факторов, влияющих как на состояние плодородия почв, так и на их продуктивность. Система применения удобрений

разрабатывается таким образом, чтобы не только компенсировать вынос элементов питания с урожаем, но и повысить фосфорные и калийные резервы почвы [1, 2].

В этом плане имеет важное научное и практическое значение продолжительность действия остаточных ко-

личеств удобрений, которые не использовались растениями, а закрепились в пашне. Исследованиями установлено, что на высоком фосфорно-калийном фоне повышенная доза минерального азота обеспечивает существенную мобилизацию почвенных запасов фосфора и калия и получение стабильно высоких урожаев, а отказ от применения фосфорных и калийных удобрений не связан с риском ухудшения качества продукции [3, 4].

Однако, при одностороннем применении азотных удобрений приходится считаться с неизбежностью определенного снижения запасов подвижных соединений фосфора и калия в почве. Информация об этом противоречива. Российские ученые отмечают, что в полевых стационарах на землях дерново-подзолистого подтипа, насыщенных фосфором и калием, допустимо применение одних азотных удобрений по прошествии пятилетнего цикла с контролем свойств почвы при очередном туре агрохимического обследования [5, 6].

Применение удобрений в значительной мере обуславливает не только направление и интенсивность сдвигов в почве, уровень и устойчивость урожайности сельскохозяйственных растений, но и качество продукции. Внесение на дерново-подзолистых почвах удобрений в научно обоснованных дозах способствует оптимизации условий для протекания биохимических процессов в растениях, а соответственно и повышению качества продукции [7].

Цель исследований – изучить влияние применения удобрений на продуктивность севооборота и динамику базовых агрохимических почвенных параметров за восемь ротаций севооборота.

Методика. Полевой стационарный эксперимент по изучению возрастающих доз минеральных удобрений заложили в 1967 г. в трёх полях в ОП Смоленский НИ-ИСХ. Почва – дерново-подзолистая легкосуглинистая имела следующую характеристику: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,0%, pH_{KCl} 4,9, Нг (по Каппену) – 4,2 мг-экв/100 г почвы, обменная кислотность – 0,35 мг-экв/100 г почвы; P_2O_5 (по Кирсанову) – 25-50 мг/кг почвы, K_2O (по Масловой) – 70-100 мг/кг почвы.

В течение первых четырех ротаций севооборот был шестипольным: 1 – ячмень + клевер луговой; 2 – клевер 1-го года пользования; 3 – озимые зерновые; 4 – яровые зерновые; 5 – картофель; 6 – овес на зерно. С пятой ротации введено ещё одно поле многолетних трав и опыт проводят на двух полях. В севообороте, начиная с шестой ротации, картофель заменили гречихой, а в седьмой – на овес на зеленый корм.

Программа исследований включала 9 ступенчато возрастающих доз азотных (аммиачная селитра), фосфорных (двойной суперфосфат) и калийных (калий хлористый) удобрений и их различные комбинации. В I и II ротациях севооборота систематически применяли все виды изучаемых удобрений в ступенчато возрастающих дозах. В III ротации изучали последствие ранее внесенного двойного суперфосфата и калия хлористого на оптимальном азотном фоне. В IV и V ротациях севооборота продолжали изучение систематического применения минеральных удобрений по схеме. В VI ротации на последних трёх культурах изучали остаточное влияние ранее внесённого фосфора и калия на оптимальном фоне азота для каждой культуры. С начала VII ротации севооборота единичная доза каждого удобрения была уменьшена, соответственно, до 10, 10 и 15 кг д.в./га, а с VIII ротации – вновь увеличена до исходной.

Эксперимент проводили в двукратной повторности. Посевная площадь делянок в первом поле 115 м² (23 м x 5 м), во втором – 88 м² (22 м x 4 м). Размер учетной площади в первом поле – 76 м², во втором – 54 м². Расположение делянок – рендомизированное. Общее число делянок 324, территория, занятая опытом – 4 га.

Агротехника сельскохозяйственных культур общепринятая для Центрального района Нечернозёмной зоны России, сорта – районированные в Смоленской области, учёт урожая – сплошной по делянкам. Почвенные образцы по вариантам опыта отбирали после окончания ротации севооборота. Статистическую обработку полученных результатов проводили методом регрессионного анализа [8, 9].

Результаты и их обсуждение. Особенности влияния доз минеральных удобрений на урожай культур севооборота показаны в таблице 1 и на рисунке. По обобщенным данным, в среднем за 8 ротаций урожайность основной продукции без удобрений составила 20,0 ц/га з.е. с колебаниями по ротациям от 16,2 до 25,3 ц/га з.е. Удобрения – важный фактор повышения продуктивности культур севооборота. Сравнительный анализ эффективности различных минеральных доз в среднем за 51 год (1967-2018 г.) показал, что наименьшая прибавка урожая (31% к контролю) получена при однократных дозах удобрений. При увеличении дозы просматривается тенденция к росту продуктивности культур до 35,0 ц/га з.е., т.е. на 75% выше контроля без удобрений.

1. Урожайность основной продукции севооборота в зависимости от доз минеральных удобрений, ц/га з. е. в год

Вариант*	I ротация (1967-1974 г.)	II ротация (1973-1980 г.)	III ротация (1979-1986 г.)	IV ротация (1985-1990 г.)	V ротация (1991-1997 г.)	VI ротация (1998-2004 г.)	VII ротация (2005-2011 г.)	VIII ротация (2012-2018 г.)	Среднее за 8 ротаций
000	18,7	20,2	24,2	20,1	25,3	18,6	16,2	17,4	20,0
111	26,7	29,1	26,1	30,3	33,8	21,0	21,9	21,2	26,2
222	29,4	32,1	27,0	32,5	36,2	22,1	22,1	24,0	28,1
333	31,6	34,2	27,7	35,7	37,7	22,8	30,2	31,8	31,4
444	32,9	35,7	28,4	37,3	38,7	23,5	29,8	34,3	32,5
555	34,5	36,9	28,9	38,5	39,3	24,1	28,7	35,1	33,2
666	35,3	37,9	29,5	39,4	39,7	24,6	30,3	34,9	33,9
777	36,5	38,7	30,0	40,1	40,0	25,1	31,2	36,0	34,7
888	37,0	39,4	30,5	40,7	40,0	25,5	30,9	36,4	35,0

* Первая цифра означает азот, вторая – фосфор, третья – калий. Единичная доза азота и фосфора составила по 20 кг д.в./га, калия – 25 кг д.в./га (здесь и в табл. 2).

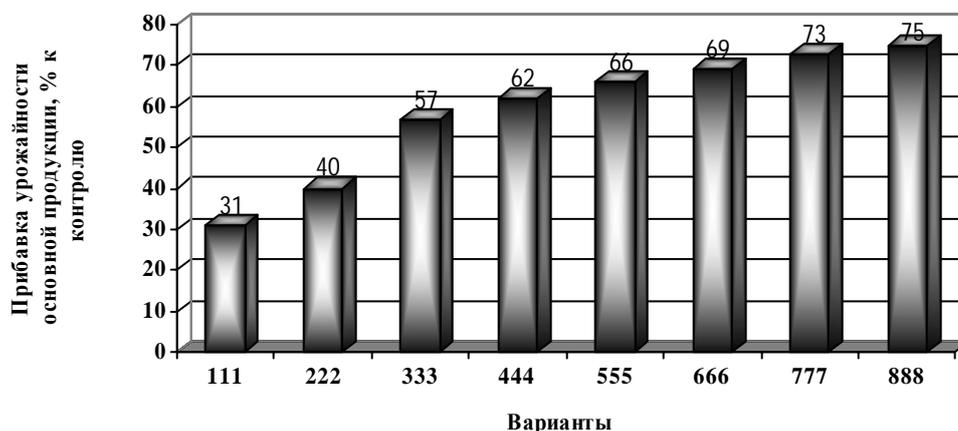


Рис. Прибавка урожайности основной продукции культур севооборота в зависимости от дозы удобрения (в среднем за 51 год)

Рассматривая урожайность культур отдельно по ротациям, необходимо отметить, что наименьшей она была в те годы, когда удобрения вносились по минимуму (VI и VII ротации) или не вносили совсем (III ротация).

Зависимость продуктивности севооборота от возрастающих доз минеральных удобрений для каждой ротации описана следующими уравнениями регрессии:

I ротация: $Y = 18,7 + 3,47 N^{0,5} - 0,92 N + 3,93 P^{0,5} - 0,58 P + 1,41 K^{0,5} + 0,49 (NP)^{0,5} + 0,22 (NK)^{0,5}$; $R = 0,98$.

II ротация: $Y = 20,2 + 3,06 N^{0,5} - 0,92 N + 3,4 P^{0,5} - 0,92 P + 3,65 K^{0,5} + 0,93 K + 0,51 (NP)^{0,5} + 0,38 (NK)^{0,5} + 0,71 (PK)^{0,5}$; $R = 0,97$.

III ротация: $Y = 24,2 - 0,87 N - 0,82 P + 1,71 K^{0,5} + 1,88 (NP)^{0,5}$; $R = 0,85$.

IV ротация: $Y = 20,1 + 4,64 N^{0,5} + 3,06 P^{0,5} + 4,08 K^{0,5} - 1,59 (NK)^{0,5}$; $R = 0,89$.

V ротация: $Y = 25,2 + 2,94 N^{0,5} + 2,81 P^{0,5} + 4,62 K^{0,5} - 1,81 (NK)^{0,5}$; $R = 0,87$.

VI ротация: $Y = 18,6 + 0,92 N^{0,5} + 1,50 P^{0,5}$; $R = 0,81$.

VII ротация: $Y = 18,5 + 1,29 N^{0,5} + 1,46 P^{0,5} + 0,78 K$; $R = 0,92$.

VIII ротация: $Y = 17,4 + 2,43 N^{0,5} + 3,04 P^{0,5} + 0,68 K$; $R = 0,95$.

Анализ уравнений регрессии показал, что в I ротации в формировании урожайности участвовали все виды внесенных минеральных удобрений, однако с ростом доз удобрений их действие ослабевало. Наиболее существенным и устойчивым было взаимодействие двойного суперфосфата с минеральным азотом и калием. Во II ротации по мере окультуривания почвы также проявля-

лось положительное взаимодействие между изучаемыми удобрениями. В III ротации, где изучали остаточное действие минерального фосфора и калия на оптимальном азотном фоне, установлена эффективность от ранее внесенных калийных удобрений и от взаимодействия свежеснесенного минерального азота с запасами фосфора в почве. Формирование урожая культур в IV и V ротациях севооборота проходило под влиянием всех видов изучаемых удобрений. Однако их действие было затухающим, на что указывает коэффициент 0,5 при N, P, K. В VI ротации, где на последних трех культурах изучалось последствие ранее внесенных удобрений на продуктивность севооборота влияли только минеральный азот и фосфор. В VII и VIII ротациях в повышении продуктивности участвовали все виды внесенных минеральных удобрений, наиболее эффективны были калийные. Их действие было прямолинейным, т.е. каждые 15 кг/га калия гарантировали прибавку урожая основной продукции 0,68-0,78 ц/га з.е.

Специфика действия минеральной системы удобрения на изменение основных агрохимических характеристик почвы представлена в таблице 2. Возделывание полевых культур без удобрения привело к снижению содержания в почве органического вещества на 17% по сравнению с исходным уровнем. К концу восьмой ротации севооборота применение минеральных удобрений в трёх-, четырёх- и семикратных дозах сводило потери гумуса к нулю. Бездефицитное содержание гумуса в почве достигалось только при внесении максимальной дозы удобрений (888).

2. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы после длительного применения минеральных удобрений

Вариант	Гумус, % С						pH _{KCl}						P ₂ O ₅ , мг/кг						K ₂ O, мг/кг					
	II	III	IV	VI	VII	VIII	II	III	IV	VI	VII	VIII	II	III	IV	VI	VII	VIII	II	III	IV	VI	VII	VIII
000	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,7	5,3	5,2	5,2	5,2	4,7	4,5	34	33	40	46	23	27	83	80	84	79	66	74
111	2,0	1,8	1,9	1,6	1,9	1,9	5,3	5,3	5,2	5,3	4,6	4,4	51	48	58	95	88	90	95	92	96	81	102	112
222	2,1	1,9	2,0	1,7	1,8	1,9	5,4	5,3	5,2	5,0	4,5	4,3	72	68	89	107	73	94	108	101	108	75	81	98
333	2,2	1,9	2,0	1,7	2,0	2,1	5,5	5,4	5,3	5,2	4,6	4,4	97	90	128	141	63	102	120	111	118	91	112	129
444	2,2	2,0	2,1	1,8	1,9	2,0	5,6	5,8	5,7	5,6	4,5	4,4	127	120	134	146	120	128	133	130	136	163	71	100
555	2,3	1,9	2,0	2,0	1,8	1,9	5,7	5,6	5,4	5,3	4,7	4,6	162	151	158	71	69	89	145	141	148	110	94	111
666	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	5,6	5,5	5,3	5,0	4,3	4,2	201	196	200	93	63	90	157	148	154	115	74	114
777	2,2	2,0	2,1	1,8	1,9	2,0	5,6	5,5	5,2	4,5	4,6	4,4	244	210	218	111	85	108	170	152	157	80	112	122
888	2,4	2,1	2,2	1,9	2,1	2,2	5,7	5,2	5,1	4,8	4,5	4,3	200	190	195	142	171	180	182	164	169	118	115	125
Среднее по опыту	2,1	1,9	2,0	1,8	1,8	1,9	5,5	5,2	5,2	5,1	4,5	4,4	132	123	135	106	83	101	132	124	130	101	91	110
Исходная почва	2,0						4,9						25-50						70-100					

Примечание. Римскими цифрами обозначены ротации севооборота.

В конце опыта (через 51 год) без внесения удобрений кислотность почвы, по отношению к исходному состоянию, увеличилась незначительно – на 0,2 ед. Длительное применение возрастающих доз удобрений способствовало сильному подкислению почвы с 4,9 до 4,2 ед. Таким образом, к концу VIII ротации почва из группы среднекислых почв перешла в группу сильнокислых.

Содержание подвижных форм фосфора на контроле без применения минеральных удобрений снизилось по сравнению с исходным значением. Внесение возрастающих доз минеральных удобрений улучшило фосфорный фон, тем самым почвы перешли из группы с низким содержанием подвижного фосфора в группы со средним и повышенным его содержанием. Ежегодное применение максимальной дозы удобрений (вариант 888) привело к значительному улучшению фосфорного фона почвы (в 3,6 раза) и переводу её в группу почв с высоким насыщением подвижным фосфором.

К концу VIII ротации на контроле насыщенность почвы обменным калием была на уровне исходного его содержания (70 мг/кг почвы). Применение питательных веществ в дозах $N_{40}P_{40}K_{50}$ и $N_{80}P_{80}K_{100}$ также способствовало поддержанию его концентрации на первоначальном уровне. Только внесение повышенных доз минеральных удобрений привело к увеличению содержания калия в почве по сравнению с исходным его значением. Вследствие этого в трех вариантах опыта (333, 777 и 888) почвы по концентрации этого элемента перешли из группы со средним насыщением в группу с повышенной насыщенностью калием.

Заключение. Длительное (более 50 лет) применение удобрений в системе зерноотравнопропашного севооборота оптимизирует агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы. Добавление в почву удобрений, содержащих азот, фосфор и калий, сохраняло бездефицитный уровень гумуса в почве, а также способствовало накоплению в ней подвижных форм фосфора и ка-

лия (в 3,6 и 1,8 раза соответственно) относительно исходных значений. Однако систематическое внесение возрастающих доз минеральных удобрений способствовало сильному подкислению почвы с 4,9 до 4,2 ед. Продуктивность севооборота от применения удобрений в среднем за восемь ротаций увеличилась на 75% относительно контроля.

Литература

1. Ермакова, Л. И. Оценка эффективности различных систем удобрения в полевом севообороте в Нечерноземной зоне / Л. И. Ермакова, М.Н. Новиков // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 39-45.
2. Авдонин, Н. С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1972. – 320 с.
3. Гаврилова, А. Ю. Эффективное использование органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Смоленской области / А. Ю. Гаврилова, А. М. Конова, И. В. Понкратенкова, Г. Е. Мёрзлая, Л. Н. Самойлов // Материалы Всероссийского координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями: Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 гг. – Москва, 2018. – С. 63-72.
4. Иванова, Т. И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей / Т. И. Иванова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.
5. Конова А.М. Продуктивность севооборота при длительном применении возрастающих доз минеральных удобрений / А.М. Конова, А.Ю. Гаврилова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования Владимирского НИИСХ Россельхозакадемии: Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье. – Суздаль, 2013. – С. 146-150.
6. Чеботарёв Н. Т. Эффективность длительного применения удобрений в кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве / Н. Т. Чеботарёв, А. А. Юдин, П. И. Конкин, Н. В. Булатова // Кормопроизводство. – 2018. – № 11. – С. 19-22.
7. Дедов, А. В. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур / А. В. Дедов, М. А. Несмеянова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13. – № 1 (64). – С. 50-60.
8. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1973. – 366 с.
9. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Колос, 2001. – 512 с.

EFFECT AND AFTEREFFECT OF LONG-TERM APPLICATION OF INCREASING DOSES OF MINERAL FERTILIZERS ON CROP ROTATION PRODUCTIVITY AND AGROCHEMICAL INDICATORS OF SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL

A.M. Konova, A.Yu. Gavrilova, Federal State Budget Research Institution – Federal Research Center for Bast Fiber Crops, ul. Nakhimova 21, Smolensk, 214025 Russia, E-mail: augavrilova@gmail.com

In a field stationary experiment on sod-podzolic soil for 51 years, the effect of increasing doses of mineral fertilizers on its fertility and productivity was studied. On average, for eight rotations of the crop rotation, the highest productivity was obtained in the variant with the introduction of mineral fertilizers in the maximum dose of $N_{160}P_{160}K_{200}$. It amounted to 35.0 c/ha of grain units, an increase to the control – 15.0 c/ha of grain units, or 75%. The positive effect of mineral fertilizers on the content of soil organic matter is noted. The acidity of the soil with an increase in mineral doses, on the contrary, deteriorated from 4.7 to 4.3 units. Increased doses of fertilizers increased the content of mobile forms of phosphorus and potassium in the soil to 180 and 129 mg/kg of soil, respectively.

Keywords: sod-podzolic soil, crop rotation, productivity, mineral fertilizers, long-term use of fertilizers.