

# ДЕЙСТВИЕ И ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯЧМЕНЯ В СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.М. Конова, к. с.-х. н., А.Ю. Гаврилова, к. б. н.,  
Федеральный научный центр лубяных культур  
170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, д. 17/56, Тел. 8920-300-74-85*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема №FGSS-2024-0004)*

*В длительном полевом стационарном опыте ФГБНУ ФНЦ ЛК, заложенном в 1967 г. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Смоленской области, изучали влияние минеральных систем удобрения в действии (1995-1996 г. и 2016-2017 г.) и последствии (2002-2003 г.) на урожайность и качество зерна ячменя сорта Владимир. Пахотный горизонт характеризовался среднекислой реакцией почвенной среды, низким содержанием гумуса и фосфора и средним – калия. В качестве минеральных удобрений использовали аммиачную селитру, двойной суперфосфат и калий хлористый. Установлено положительное достоверное влияние применяемых систем удобрения на продуктивность ячменя как в действии, так и в последствии. Наибольшая урожайность зерна (41,2 ц/га) при систематическом применении удобрений получена при внесении их в максимальных дозах в варианте N<sub>160</sub>P<sub>160</sub>K<sub>200</sub>. Прибавка к контролю доходила до 157%. В период последствия удобрений наибольший эффект (21,1 ц/га) был в варианте N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>100</sub> (прибавка к контролю до 122%). Установлено, что урожайность зерна ячменя при действии минеральных удобрений была в 1,2 – 2,1 раза выше, чем при их последствии во всех вариантах опыта. При этом на последствии получены достаточно высокие показатели качества зерна: масса 1000 зерен – 37,7 г, содержание сырого протеина – 9,4%, фосфора – 0,80 и калия – 0,46%. Показано, что при длительном систематическом применении удобрений содержание подвижных форм меди, цинка, марганца и кобальта в почве не превышало предельно допустимые концентрации химических веществ.*

*Ключевые слова: ячмень, минеральные удобрения, дерново-подзолистая почва, продуктивность, протеин, тяжелые металлы.*

Для цитирования: Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность и качество ячменя в Смоленской области// Плодородие. – 2025. – №4. – С. 27-30. DOI: 10.25680/S19948603.2025.145.07.

Ячмень является ценной зерновой культурой, которая используется на продовольственные, кормовые и технические цели. В нашей стране его высевают повсеместно [1]. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики [3], основные посевы ячменя сосредоточены в Приволжском ФО, где они занимают около 40% всех посевных площадей под этой культурой. В структуре посевных площадей, занятых ячменем, в тройку лидеров входят: Оренбургская область (6,3% всех посевов), Республика Башкортостан (5,7%) и Омская область (5,5%). В Смоленской области по занимаемым площадям среди зерновых ячмень находится на третьем месте (19,2 тыс. га) после пшеницы и овса. Урожайность ячменя по области в 2024 г. составила 25,1 ц/га, что на 0,5 ц/га выше, чем по стране [4].

Ячмень отличается слабым развитием корневой системы в начальный период роста и наиболее высокой потребностью в это время в питательных веществах [1]. Поэтому короткий период поглощения элементов питания – одна из наиболее важных биологических особенностей культуры. К фазе выхода в трубку растения накапливают почти половину (46-50%) азота и фосфора и около 2/3 количества калия, потребляемых за весь вегетационный период. Для формирования 1 т зерна ячмень в среднем использует 27-29 кг азота, 11 фосфора и 20-24 кг калия [1, 5]. Оптимальные годовые дозы минеральных удобрений (кг д.в/га) следующие: 45-60 фосфорных, 25-40 калийных и 20-30 азотных. На почвах, бедных органическим веществом, доза азота должна быть увеличена [6-8]. Тем не менее, в зависимости от

конкретных почвенных и погодных условий региона, дозы удобрений необходимо уточнять и корректировать.

**Цель исследований** – экологически обосновать оптимальные дозы минеральных систем удобрения разной интенсивности при выращивании ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

**Методика.** На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с низким содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (25-50 мг/кг почвы) и средним K<sub>2</sub>O (70-100 мг/кг почвы) изучали действие (1995-1996 г. и 2016-2017 г.) и последствие (2002-2003 г.) возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя сорта Владимир. Пахотный горизонт характеризовался среднекислой реакцией почвенной среды (рН 4,9), низким содержанием гумуса (2,0%), гидролитическая кислотность составила 4,2 мг-экв/100 г почвы. Опыт в условиях полевого стационара ОП Смоленский НИИСХ ФГБНУ ФНЦ ЛК был заложен в 1967 г. в двух полях зернотравяного севооборота [9].

Аммиачную селитру, двойной суперфосфат и калий хлористый вносили в течение шести ротаций севооборота в течение 41 года. В I-II, IV-V и VIII ротациях единичная доза удобрений под каждую культуру составляла по 20 кг д.в/га азота и фосфора и 25 кг д.в/га калия, в VII ротации – 10, 10 и 15 кг д.в/га соответственно. В III и VI ротациях изучали последствие ранее внесенных минеральных доз на фоне ежегодной азотной подкормки растений в дозе N<sub>45</sub>. Многолетние травы в опыте возделывали без удобрений.

В статье представлены данные по влиянию систем удобрения на пятую культуру зернотравяного севооборота – яровой ячмень сорта Владимир, полученные в V (1995-1996 г.) и VIII (2016-2017 г.) ротациях. Для сравнения взяты результаты исследований по последней культуре изучаемых удобрений в VI ротации (2002 – 2003 г.). Площадь учетной делянки – 115 м<sup>2</sup> (23 x 5), повторность опыта – 2-кратная. Предшественником ячменя в V и VI ротациях была озимая пшеница, в VIII – озимая триликале.

Закладку и проведение опыта выполняли по методике Б.А. Доспехова [10]. Математическую обработку урожайных данных осуществляли методом регрессионного анализа с использованием программы STRAZ. Содержание в растениях общего азота определяли по ГОСТу 134964-93, фосфора – по ГОСТу 26657-97, калия – по

ГОСТу 30504-97, содержание тяжелых металлов в почве – по методическим указаниям [11, 12].

Метеорологические условия в годы проведения исследований, согласно данным GISMETEO [13], различались по характеру распределения осадков (рис. 1). Крайне засушливым были 1996 и 2002 г. Средние температуры воздуха за вегетационный период были ниже среднееголетних значений на 1,0 – 3,9°С, сумма осадков составляла 26 – 81% от нормы, ГТК = 0,9. Оптимальными по влагообеспеченности и температурному режиму были 1995 и 2016 г., ГТК за вегетацию составил 1,5 и 1,6 соответственно. Избыточно влажными были 2003 и 2017 г., в которых количество выпавших осадков в августе, соответственно, в 2,2 и 1,7 раза превышало норму.

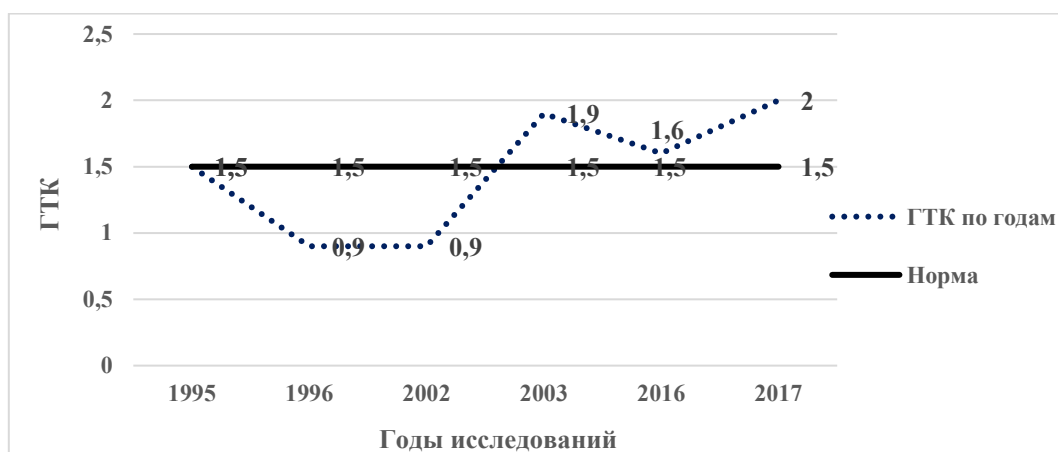


Рис. 1. Гидротермический коэффициент за вегетационные периоды 1995-1996 г., 2002-2003 г. и 2016-2017 г.

**Результаты и их обсуждение.** Урожайность зерна ячменя, возделываемого в 7-польном севообороте, при действии и последствии минеральной системы удобрения, представлена в таблице 1. Наибольшая урожайность при действии удобрений получена при внесении их в максимальных дозах (вариант N<sub>160</sub>P<sub>160</sub>K<sub>200</sub>).

Прибавка к контролю в среднем за два года составила до 157%. Однако в 1995 г. увеличение минеральной дозы свыше N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>75</sub>, а в 2016 г. свыше N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>150</sub> не сопровождалось достоверным приростом урожайности зерна ячменя.

1. Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность зерна ячменя, ц/га

Вариант	Действие удобрений			Последствие удобрений			Действие удобрений		
	1995 г.	1996 г.	среднее	2002 г.	2003 г.	среднее	2016 г.	2017 г.	среднее
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	18,8	19,4	19,1	8,0	14,0	11,0	16,6	15,3	16,0
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>25</sub>	23,7	24,4	24,1	9,2	18,4	13,8	18,3	19,4	18,9
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	25,1	26,5	25,8	9,9	25,4	17,6	20,6	22,9	21,8
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>	25,9	28,1	27,0	10,9	29,3	20,1	30,6	33,1	31,9
N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>100</sub>	26,4	29,4	27,9	12,0	30,2	21,1	32,9	35,5	34,2
N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub>	27,2	30,6	28,9	9,1	31,2	20,1	34,3	37,4	35,9
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>150</sub>	28,1	31,7	29,9	8,8	29,9	19,3	37,0	39,1	38,1
N <sub>140</sub> P <sub>140</sub> K <sub>175</sub>	29,3	32,7	31,0	8,5	27,6	18,0	37,4	41,1	39,3
N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>200</sub>	30,8	33,6	32,2	8,0	26,6	17,3	38,5	43,8	41,2
НСР <sub>0,5</sub>	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	0,7	1,6	1,6	1,1

При последствии удобрений наибольший эффект получен в 2002 г. при внесении четырехкратных доз, в 2003 г. – пятикратных. В этих вариантах отмечена и наибольшая достоверная прибавка урожая к контролю (от 50 до 122%). При том, что в 2002 г. на протяжении всего вегетационного периода наблюдалась сильная засуха, урожайность ячменя в этот год была в 1,7 – 3,4 раза ниже достаточно благоприятного 2003 г.

В целом урожайность зерна ячменя при действии минеральных удобрений была выше в 1,2-2,1 раза, чем при их последствии во всех вариантах опыта. Данная тенденция подтверждается и полученными уравнениями регрессии:

$$U_{1995-1996} = 19,1 + 4,2N^{0,5} + 3,0P^{0,5} + 1,7K; R = 0,95;$$

$$U_{2016-2017} = 16,4 + 0,9N + 0,8P + 0,7K + 0,7(NP)^{0,5};$$

$$R = 0,94,$$

$$Y_{2002-2003} = 10,9 + 1,0N^{0,5} + 3,1P^{0,5} + 1,1K^{0,5} - 0,4P - 0,3(PK)^{0,5}; R = 0,83.$$

В период 1995-1996 г. и 2016-2017 г. все виды вносимых минеральных удобрений увеличивали урожайность ячменя. Их действие было прямолинейным, т.е. каждые 20 кг/га азота и фосфора, а также 25 кг/га калия гарантировали увеличение урожая на 0,7 – 0,9 ц/га з. е. В 2002-2003 г. на формирование урожая также оказывали влияние вносимые ранее удобрения, при этом их действие носило угасающий характер, что подтверждается коэффициентом 0,5.

Одним из важнейших элементов структуры урожая является масса 1000 зерен, которая характеризует выполненность зерна. Во время действия удобрений (2016-2017 г.) отмечено увеличение этого показателя с ростом минеральной дозы, которое составило 20% к контролю (рис. 2). При последствии удобрений, начиная с варианта N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>150</sub>, наблюдалась тенденция к снижению выполненности зерна. Сравнивая системы удобрения между собой следует отметить, что применение двукратной минеральной дозы (N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>50</sub>) впоследствии формировало зерно ячменя, которое по массе 1000 семян было практически на уровне варианта N<sub>100</sub>P<sub>100</sub>K<sub>125</sub> на последствии удобрений.

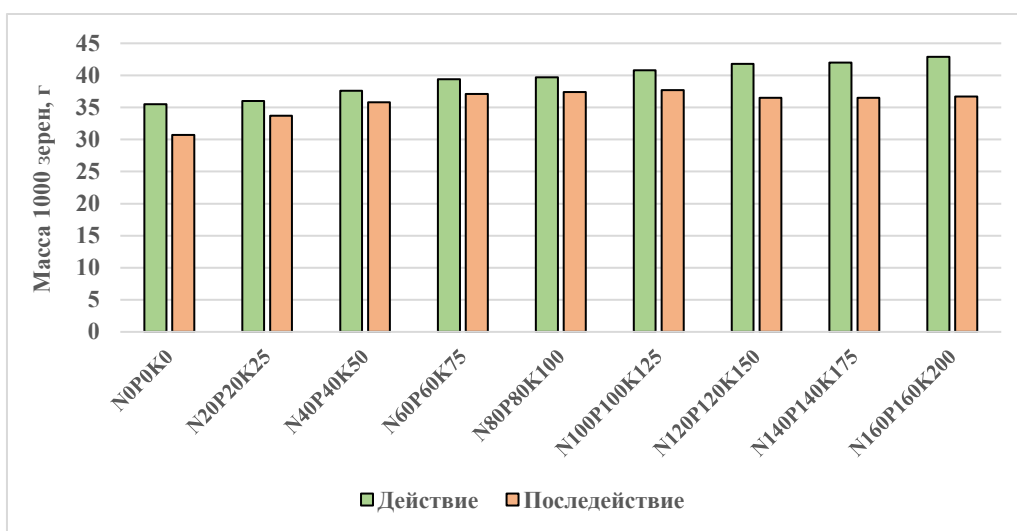


Рис. 2. Влияние последствия (2002-2003 г.) и действия (2016-2017 г.) возрастающих доз NPK на массу 1000 зерен ячменя

Для полноценной всесторонней оценки применяемых систем удобрения важно не только учитывать продуктивность сельскохозяйственных культур, но и уделять особое внимание качеству получаемого зерна. Согласно таблице 2, содержание сырого протеина в зерне ячменя по мере повышения минеральной дозы увеличилось на 2,8-3,2%, по сравнению с контролем, как при действии удобрений (2016-2017 г.), так и при их последствии. В большей мере белковость зерна возрастала в варианте с ежегодным внесением минеральных удобрений в дозе N<sub>140</sub>P<sub>140</sub>K<sub>175</sub>. Содержание фосфора в зерне увеличивалось с 0,81 до 0,97% при действии удобрений и с 0,64 до 0,80% при их последствии. Содержание калия с ростом минеральной дозы снижалось.

удобрений (R=0,98), так и по их последствию (R=0,95). Коэффициенты корреляции между урожайностью зерна и содержанием в нем фосфора и калия находились на более низком уровне – 0,80 и 0,75 соответственно.

Согласно [14], в состав минеральных удобрений могут входить соединения тяжелых металлов. Их содержание в удобрениях определяется технологией производства и концентрацией в исходном сырье. Наиболее загрязненными являются фосфорные удобрения, содержащие кадмий, медь, цинк, свинец, никель, хром, фтор. Калийные удобрения по содержанию твердых металлов занимают промежуточное положение между фосфорными и азотными [15, 16].

## 2. Влияние удобрений на качественный состав зерна ячменя, %

Вариант	Последствие удобрений (в среднем за 2002-2003 г.)			Действие удобрений (в среднем за 2016-2017 г.)		
	Сырой протеин	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Сырой протеин	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	6,6	0,64	0,36	7,2	0,81	0,60
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>25</sub>	7,3	0,71	0,39	7,9	0,87	0,63
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	7,5	0,73	0,44	8,2	0,90	0,65
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>	8,2	0,74	0,43	9,0	0,91	0,65
N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>100</sub>	8,4	0,77	0,46	9,0	0,94	0,67
N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub>	8,8	0,79	0,42	9,5	0,95	0,64
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>150</sub>	8,8	0,78	0,39	9,7	0,95	0,65
N <sub>140</sub> P <sub>140</sub> K <sub>175</sub>	9,4	0,80	0,42	10,4	0,97	0,60
N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>200</sub>	9,0	0,78	0,38	10,0	0,97	0,57

Корреляционный анализ полученных данных установил сильную зависимость между урожайностью ячменя и массой его 1000 зерен как при внесении минеральных

## 3. Влияние последствия и действия систем удобрения на содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мг/кг

Вариант	Последствие удобрений (в среднем за 2002-2003 г.)				Действие удобрений (в среднем за 2016-2017 г.)			
	Cu	Zn	Mn	Co	Cu	Zn	Mn	Co
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0,20	0,84	111,0	1,00	0,24	0,89	113,6	1,09
N <sub>20</sub> P <sub>20</sub> K <sub>25</sub>	0,19	1,10	80,0	1,01	0,23	1,15	82,4	1,10
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>50</sub>	0,19	1,12	75,0	1,02	0,23	1,20	79,4	1,14
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>	0,20	1,10	110,0	1,32	0,21	1,17	120,8	1,44
N <sub>80</sub> P <sub>80</sub> K <sub>100</sub>	0,19	0,96	109,0	1,34	0,18	0,99	118,9	1,45
N <sub>100</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub>	0,14	0,95	96,0	1,40	0,12	0,97	102,0	1,49
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>150</sub>	0,09	1,02	115,0	1,45	0,10	1,07	125,9	1,52
N <sub>140</sub> P <sub>140</sub> K <sub>175</sub>	0,10	1,10	120,0	1,48	0,11	1,17	133,5	1,55
N <sub>160</sub> P <sub>160</sub> K <sub>200</sub>	0,10	1,09	140,0	1,70	0,11	1,16	156,6	1,81

Данные таблицы 3 показали, что при длительном систематическом применении минеральных удобрений в VIII ротации содержание подвижных форм меди, цинка,

марганца и кобальта не превышало ПДК химических веществ в почве, которые допускают концентрацию меди – 3,0 мг/кг, цинка – 23,0, марганца – 300, кобальта – 5,0 мг/кг. Следует отметить, что в годы изучения последствий вносимых ранее удобрений, содержание вышеуказанных элементов несколько уменьшилось относительно периода с многолетним внесением минеральных систем.

**Заключение.** В зернотравяном севообороте, возделываемом на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях Смоленской области, урожайность зерна ячменя повышалась как от действия минеральных удобрений, так и от их последствий. Отмечена высокая эффективность последствий удобрений: урожайность ячменя составила 21,1 ц/га, или была на 91% больше контроля без внесения удобрений. При этом получены высокие показатели качества зерна: масса 1000 семян (37,7 г), содержание сырого протеина (9,4%), фосфора (0,80%) и калия (0,46%).

#### Литература

1. Глуховцев В.В., Царевский С.Ю., Столпивская Е.В., Кулясов С.Н., Толпекина А.С. Значение сорта ярового ячменя при энергоресурсосберегающих технологиях возделывания // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 4. – С. 3-5.
2. Сарманов Ш.Ш. Требования к качественным сортам ячменя // Life Sciences and Agriculture. – 2020. – №3(7). – С. 4-6.
3. Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4%D1%81%D1%85\\_2024.xlsx](http://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4%D1%81%D1%85_2024.xlsx) (дата обращения: 27.02.2025 г.)
4. Конова А. М. [и др.] Региональная система земледелия Смоленской области. – Смоленск: Агронаучсервис, 2013. – 277 с.
5. Кирпичников Н.А., Бижан С.П. Влияние последствий извести и систематического применения удобрений на агрохимические свойства

дерново-подзолистой почвы и урожайность зерновых культур // Агрохимия. – 2023. – № 4. – С. 39-43.

6. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Действие и последствие длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность севооборота и баланс макроэлементов в черноземе обыкновенном // Агрохимия. – 2015. – № 8. – С. 49-56.
7. Селезнева Н.А., Асеева Т.А. Влияние длительного действия и последствий минеральных удобрений и извести на изменение агрохимических свойств и продуктивность культур в севообороте // Плодородие. – 2023. – № 6 (135). – С. 23-27.
8. Мерзлая Г.Е., Федулова А.Д., Гаврилова А.Ю. Влияние длительного применения систем удобрения разной интенсивности на урожайность и качество зерна овса // Агрохимия. – 2022. – №8. – С. 3-9.
9. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
11. Кузнецов А.В., Фесюн А.П., Самохвалов С.Г., Махонько Э.П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
12. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Колос, 2001. – 512 с.
13. GISMETEO: Погода в Смоленске. – URL: <https://www.gismeteo.by/weather-smolensk-4239/> (дата обращения 16.01.2025)
14. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Хлопук М.С., Сидорова Е.В. Накопление тяжелых металлов в урожае зерновых культур при длительном применении минеральных удобрений // Агрохимия. – 2022. – №3. – С. 74-80.
15. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
16. Бузетти К.Д., Иванов М.В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека // Аграрная наука. – 2020. – №338(5). – С. 80-84.

#### THE EFFECT AND AFTEREFFECT OF MINERAL FERTILIZERS OF VARYING INTENSITY ON THE YIELD AND QUALITY OF BARLEY IN THE SMOLENSK REGION

**Konova A.M., Gavrilova A.Yu.**  
**Federal Research Center for Bast Fiber Crops,**  
**Komsomolsky pr., 17/56, Tver, 170041, Russia**

*The influence of mineral fertilizer systems in action (1995-1996 and 2016-2017) and aftereffect (2002-2003) on the yield and quality of barley grain was studied in the long-term field hospital of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, established in 1967 on the sod-podzolic light loamy soil of the Smolensk region. The arable horizon was characterized by a medium acidic reaction of the soil environment, a low content of humus and phosphorus, and an average content of potassium. Ammonium nitrate, double superphosphate and potassium chloride were used as mineral fertilizers. A positive reliable effect of the applied fertilizer systems on the productivity of barley has been established both in action and in aftereffect. The highest grain yield with the systematic use of fertilizers was obtained when they were applied in maximum doses on the N<sub>160</sub>P<sub>160</sub>K<sub>200</sub> variant. The increase in control was up to 157%. During the aftereffect of fertilizers, the greatest effect (21.1 c/ha) was obtained on the N<sub>80</sub>P<sub>80</sub>K<sub>100</sub> variant (up to 122% increase in control). It was found that the yield of barley grain under the action of mineral fertilizers was 1.2-2.1 times higher than with their aftereffect in all experimental variants. At the same time, fairly high grain quality indicators were obtained during the aftereffect: the mass of 1000 grains was 37.7 g, the crude protein content was 9.4%, phosphorus was 0.80% and potassium was 0.46%. It was shown that with prolonged systematic application of fertilizers, the content of mobile forms of copper, zinc, manganese and cobalt in the soil did not exceed the maximum permissible concentrations of chemicals.*

*Keywords: barley, mineral fertilizers, sod-podzolic soil, productivity, protein, heavy metals.*