



Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок

© 2021. Ф. А. Попов , Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова, Е. В. Светлакова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Результаты исследований получены в 2019-2020 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях центральной зоны Евро-Северо-Востока РФ. Изучали 18 вариантов возрастающих доз минеральных удобрений в диапазоне от 30 до 150 кг действующего вещества на гектар. В условиях вегетационного периода 2019 г. на величину урожая ячменя сорта Новичок в большей степени влияли азотные удобрения ($Y = 0,67 - 0,11x^2 + 1,33x$, $R^2 = 0,92$), в 2020 г. – фосфорные ($Y = 1,48 - 0,02x^2 + 0,48x$, $R^2 = 0,99$). В среднем за 2 года исследований урожайность в контрольном варианте без применения удобрений составила 0,87 т/га. Прибавки урожайности зерна ячменя от применения возрастающих доз удобрений варьировали от 1,38 до 3,90 т/га. Окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений прибавкой урожая ячменя снижалась при увеличении доз: с 15,3 ($N_{30}P_{30}K_{30}$) до 8,3 кг ($N_{150}P_{150}K_{150}$). В среднем за два года исследований возрастающие дозы и соотношения минеральных удобрений не оказали существенного влияния на технологические свойства зерна ярового ячменя. Содержание сырого протеина в зерне с увеличением доз удобрений возрастало ($r = 0,55$), для получения зерна 2 класса качества необходимо вносить не менее 90 кг д. в./га аммиачной селитры. По содержанию сырой клетчатки получен 1 класс качества зерна, данный показатель не зависел от применения удобрений. Высокая рентабельность возделывания ярового ячменя сорта Новичок (от 54,2 до 59,1 %) отмечена при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}$, N_{120} , $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Ключевые слова: возрастающие дозы, прибавка урожая, окупаемость, экономическая эффективность, технологические показатели качества, физико-химические показатели качества

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема №0528-2019-0100).

Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Попов Ф. А., Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):254-263. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263>

Поступила: 03.02.2021

Принята к публикации: 21.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety

© 2021. Fyodor A. Popov , Lyudmila M. Kozlova, Eugenia N. Noskova, Elena V. Svetlakova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The results of the research were obtained in 2019-2020 on sod-podzolic middle-loam soil in the conditions of Euro-North-East of the Russian Federation. There were studied 18 variants of increasing doses of mineral fertilizers in the range from 30 to 150 kg of active ingredient per hectare. Under the conditions of 2019 growing season, nitrogen fertilizers influenced the value of yield of Novichok barley variety to a greater extent ($Y = 0.67 - 0.11x^2 + 1.33x$, $R^2 = 0.92$), in 2020 - phosphorus fertilizers ($Y = 1.48 - 0.02x^2 + 0.48x$, $R^2 = 0.99$). On average, over 2 years of research, the yield in the control variant without the use of fertilizers was 0.87 t/ha. Yield increase of barley grains because of enlarged fertilizer doses ranged from 1.38 to 3.90 t/ha. The payback of 1 kg of active ingredient of fertilizers with increase of barley yield decreased due to enlarged doses: from 15.3 ($N_{30}P_{30}K_{30}$) to 8.3 kg ($N_{150}P_{150}K_{150}$). On average for two years of the research the increasing doses and ratios of mineral fertilizers had no significant effect on technological properties of spring barley seeds. The content of crude protein in grain grew with increase in fertilizer doses ($r = 0.55$). To obtain grain of the 2nd class of quality it is necessary to apply not less than 90 kg of active ingredient/hectare of ammonium nitrate. According to the content of crude cellulose, the 1st class of grain quality has been obtained, and this indicator did not depend on the application of fertilizers. High profitability of cultivation of the Novichok spring barley variety (from 54.2 to 59.1 %) has been recorded by application of mineral fertilizers in doses $N_{60}P_{60}$, N_{120} , $N_{60}P_{60}K_{60}$ and $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Keywords: increasing doses, yield increase, payback, economic efficiency, technological quality indicators, physical-and-chemical quality indicators

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0100).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Popov F. A., Kozlova L. M., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(2):254-263. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263>

Received: 03.02.2021

Accepted for publication: 21.03.2021

Published online: 19.04.2021

Минеральное питание растений имеет принципиальное значение в оценке и управлении параметрами эффективного плодородия, функционирования и устойчивого развития агроценозов. Высокая и стабильная продуктивность подзолистых почв, характеризующихся низким естественным плодородием, в условиях короткого вегетационного периода и дефицита тепла возможна при систематическом научно обоснованном применении агрохимических средств [1]. Среди факторов, повышающих эффективность зернового комплекса, на долю известковых, минеральных и органических удобрений приходится 65-75 % [2]. Значение удобрений в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур, приумножении и сохранении плодородия почвы доказано многочисленными опытами и подтверждено практикой мирового земледелия. Кроме того, научно обоснованное применение удобрений позволяет управлять качеством сельскохозяйственной продукции и предотвращает загрязнение окружающей среды. При этом особенно велика их роль на дерново-подзолистых почвах, имеющих невысокий природный потенциал [3, 4, 5]. Полностью отказаться от использования минеральных удобрений нельзя даже на высокоплодородных почвах, длительное время получавших достаточное их количество. На бедных питательными элементами почвах при отрицательном их балансе в системе почва-растение ограничение применения всех видов удобрений приводит к резкому снижению продуктивности пашни¹.

В Волго-Вятском регионе яровой ячмень относят к проверенной, высоконадёжной культуре, которая максимально использует свой биологический потенциал для формирования устойчивых урожаев. Главное направление использования ярового ячменя в регионе –

зернофуражное [6]. В 2017-2018 гг. мировые посевные площади ячменя составили 48,1 млн га, а в Российской Федерации – 7,85 млн га². Урожайность и качество зерна ярового ячменя во многом зависят от минерального питания растений, агрохимических свойств почвы, сортовых особенностей и других факторов [7]. Управление минеральным питанием ячменя – один из основных факторов повышения его урожайности [8, 9, 10].

Для обеспечения продовольственной безопасности и независимости РФ, конкурентоспособности отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижения технологических рисков в агропромышленном комплексе актуальной является разработка высокоэффективных, экологически безопасных систем интегрированного применения агрохимических средств в агротехнологиях различной интенсификации.

Научная новизна проводимых исследований заключается в том, что впервые установлены закономерности влияния различных доз, видов и соотношений минеральных удобрений на величину и качество урожая ярового ячменя сорта Новичок в условиях Кировской области.

Цель исследований – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ярового ячменя сорта Новичок и выявить экономически эффективные дозы.

Материал и методы. Полевой стационарный опыт по изучению различных видов, доз и соотношений минеральных удобрений заложен более 48 лет назад, в 1972 г. (вторая закладка – в 1973 г., третья – в 1974 г.) на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, сформированной на элювии пермских глин. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-20 см) при закладке опыта: рН_{KCl} 4,80,

¹Региональная система земледелия Смоленской области. Смоленск: Агронаучсервис, 2013. 277 с.

²World agricultural production. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Circular Series, 2021. 40 p. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

гумус – 1,50 % (по Тюрину), подвижный фосфор – 46 мг/кг, обменный калий – 160 мг/кг почвы (по Кирсанову). В настоящее время идет восьмая ротация шестипольного севооборота с типичным для Кировской области чередованием сельскохозяйственных культур: озимая рожь по чистому пару; яровой ячмень с подсевом клевера лугового; клевер луговой 1 г. п.; яровая пшеница по пласту многолетних трав; яровой овес – по обороту пласта.

Возделываемый в опыте сорт ярового ячменя Новичок включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2002 г. Главное достоинство сорта – толерантность к кислым дерново-подзолистым почвам. На почвах, подверженных эдафическому стрессу, средняя урожайность сорта составляла 5,6 т/га. Сорт среднеспелый, зернофуражного использования. Зерно средней крупности. Масса 1000 зерен достигает 45 г. Устойчивость к полеганию хорошая, однако при высоких дозах азота сорт склонен к полеганию. Сорт практически устойчив к черной и твердой головне, средневосприимчив к корневым гнилям.

Органические удобрения в опыте не применяли, известкование почвы не проводили. Минеральные удобрения во всех ротациях севооборота вносили под озимую рожь и яровые зерновые культуры перед посевом, весенние и летние подкормки не применяли.

Почвенные пробы для агрохимического анализа отбирали в начале 8-й ротации севооборота в чистом пару до посева озимой ржи (2017-2018 гг.) с определением следующих показателей: обменная кислотность потенциметрически (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса по методу Тюрина в модификации Никитина (ГОСТ 26213-91), содержание подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91).

Схема факториального опыта включает 54 варианта, повторность двукратная. Площадь варианта 140 м², учетная площадь – 58,8 м². В данной статье использованы результаты исследований по 18 вариантам опыта с применением различных соотношений аммиачной селитры, двойного гранулированного суперфосфата и хлористого калия. Внесение минеральных удобрений осуществляется поделенно вручную, непосредственно перед предпосевной культивацией. Уборка урожая

выполнена в фазу полной спелости ячменя путем прямого комбайнирования Sampro 500. Анализ технологических качеств зерна ячменя проводили по общепринятой в агрохимических исследованиях методике³. Анализ физико-химических свойств зерна ячменя выполняли на приборе INFRAMATIC. Экономическую эффективность применения минеральных удобрений рассчитывали по типовым технологическим картам согласно методическим указаниям⁴. Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализы данных выполнены с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2007.

Метеоусловия вегетационных периодов сильно различались по годам исследований, особенно в критические моменты развития растений ячменя. В период посева и формирования всходов ячменя в мае 2019 г. выпало всего 68 % от нормы осадков, тогда как в мае 2020 г. этот показатель составил 165 %. При этом сумма активных температур на конец мая 2019 г. была равна 292 °С, а в мае 2020 г. – несколько ниже, 227 °С. Всё это способствовало более раннему и дружному появлению всходов и развитию посевов ячменя во второй год исследований. В целом к моменту уборки ячменя в августе 2019 г. сумма активных температур достигла 1220 °С, сумма осадков – 252 мм. В аналогичный период 2020 г. сумма активных температур составила 1328 °С, сумма осадков – 290 мм. Таким образом, сложившиеся метеоусловия позволили в 2020 г. получить большую урожайность зерна ячменя по сравнению с 2019 г.

Результаты и их обсуждение. В длительном полевом опыте в течение семи ротаций шестипольного зернопарового севооборота вносили возрастающие дозы минеральных удобрений под зерновые культуры. Агрохимические свойства пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы после 43 лет ведения опыта представлены в таблице 1.

В исследованиях Н. Е. Завьяловой с соавторами [3] на дерново-подзолистых почвах содержание гумуса в варианте без применения удобрений снизилось за 40 лет на 13 % от исходного значения. В наших исследованиях за 43 года снижение составило 24 относительных процента: с 1,50 до 1,14 %. В варианте с малой дозой удобрения (30 кг д. в./га)

³Оценка качества зерна: справочник. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.

⁴Методические указания по расчету экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов НИР для условий Северо-Востока европейской части РФ. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. 65 с.

содержание гумуса уменьшилось на 0,17 %, со средними и повышенными дозами (60-120 д.в. /га) – на 0,05-0,09 абс. %. Только внесение макси-

мальной дозы удобрений (150 кг д. в./га) обеспечило сохранение содержания гумуса в почве на исходном уровне.

Таблица 1 – Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в основных вариантах длительного стационарного опыта (среднее за 2017-2018 гг.) /

Table 1 – Agrochemical properties of sod-podzolic soil in the main variants of long-term stationary experiment (average for 2017-2018)

Доза удобрений / Fertilizer dose	pH _{KCl}	Гумус, % / Humus, %	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/кг / mg/kg	
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	4,8	1,14	60	176
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,7	1,33	84	205
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,7	1,41	122	213
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,6	1,43	147	230
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,5	1,45	197	242
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	4,5	1,54	205	249
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,2	0,17	10	25

С увеличением доз минеральных удобрений до 90-150 кг д. в./га наблюдалось существенное возрастание кислотности пахотного слоя дерново-подзолистой почвы на 0,2-0,3 единицы pH_{KCl} относительно контрольного варианта.

Во всех вариантах с внесением доз NPK отмечено достоверное увеличение содержания подвижного фосфора относительно контроля на 23-145 мг/кг, обменного калия – на 29-73 мг/кг.

Внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на урожайность ярового ячменя сорта Новичок. В 2019 г. на величину урожая ячменя в большей степени влияли азотные удобрения ($Y = 0,67 - 0,11x^2 + 1,33x$, $R^2 = 0,92$) на фоне фосфорно-калийных и фосфорные ($Y = 1,31 - 0,09x^2 + 1,05x$, $R^2 = 0,83$) на фоне азотно-калийных удобрений. В 2020 г. в большей степени влияли фосфорные удобрения ($Y = 1,48 - 0,02x^2 + 0,48x$, $R^2 = 0,99$) на фоне азотно-калийных и калийные ($Y = 2,27 - 0,01x^2 + 0,23x$, $R^2 = 0,93$) на фоне азотно-фосфорных удобрений, а влияние азотных удобрений на фоне применения фосфорно-калийных снизилось ($Y = 2,42 - 0,02x^2 + 0,22x$, $R^2 = 0,63$).

Урожайность ячменя в 2019 г. в контрольном варианте составила всего 0,28 т/га (табл. 2). Это связано с тем, что в начале вегетации ячменя наблюдалась недостаточная

влагообеспеченность его посевов. После выпадения необходимого количества осадков питательные элементы стали доступны растениям в вариантах опыта с внесением удобрений, чего в контрольном варианте, где удобрения не применялись, не произошло. Самую высокую урожайность обеспечила доза N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀ – 5,22 т/га. Применение только калийных удобрений, пусть и в возрастающих дозах, не приводило к увеличению урожайности ячменя. Внесение двойных сочетаний удобрений выстраивалось в следующую цепочку по снижению их эффективности: азотно-фосфорные, азотно-калийные, фосфорно-калийные. Данную тенденцию наблюдали и при увеличении доз удобрений.

Самую большую прибавку урожайности зерна ячменя обеспечила доза минеральных удобрений N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀ – 4,94 т/га при достаточно низкой окупаемости 1 кг д. в. (11 кг зерна). Максимальная окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений прибавкой зерна составила 36 кг при внесении аммиачной селитры в дозе N₆₀. Примерно равная окупаемость 1 кг д. в. наблюдалась при применении аммиачной селитры с двойным суперфосфатом в дозе N₆₀P₆₀ (26,7 кг) и при внесении всех видов удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ (25,1 кг зерна ячменя). Самая низкая окупаемость зерном получена при внесении хлористого калия в дозе K₆₀ (4,2 кг).

Таблица 2 – Урожайность ярового ячменя сорта Новичок и окупаемость минеральных удобрений зерном / Table 2 – Yield of spring barley of the Novichok variety and payback of mineral fertilizers with grain

Доза удобрений / Fertilizer dose	2019 г.			2020 г.			Среднее за 2 года / Average for 2 years		
	У*	П**	О***	У	П	О	У	П	О
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	0,28	-	-	1,46	-	-	0,87	-	-
N ₆₀	2,44	2,16	36,0	2,20	0,74	12,3	2,32	1,45	24,2
P ₆₀	1,35	1,07	17,8	1,81	0,35	5,8	1,58	0,71	11,8
K ₆₀	0,82	0,54	9,0	1,59	0,13	2,2	1,21	0,34	5,6
N ₆₀ P ₆₀	3,48	3,20	26,7	2,70	1,24	10,3	3,09	2,22	18,5
N ₆₀ K ₆₀	2,28	2,00	16,7	2,60	1,14	9,5	2,44	1,57	13,1
P ₆₀ K ₆₀	2,12	1,84	15,3	1,70	0,24	2,0	1,91	1,04	8,7
N ₁₂₀	2,76	2,48	20,7	3,12	1,66	13,8	2,94	2,07	17,3
P ₁₂₀	2,41	2,13	17,8	2,03	0,57	4,8	2,22	1,35	11,3
K ₁₂₀	0,78	0,50	4,2	1,62	0,16	1,3	1,20	0,33	2,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀	3,78	3,50	14,6	3,40	1,94	8,1	3,59	2,72	11,3
N ₁₂₀ K ₁₂₀	3,22	2,94	12,3	3,19	1,73	7,2	3,21	2,34	9,7
P ₁₂₀ K ₁₂₀	2,7	2,42	10,1	2,67	1,21	5,0	2,69	1,82	7,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,54	2,26	25,1	1,95	0,49	5,4	2,25	1,38	15,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,07	3,79	21,1	2,75	1,29	7,2	3,41	2,54	14,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	4,43	4,15	15,4	3,17	1,71	6,3	3,80	2,93	10,9
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,98	4,70	13,1	4,55	3,09	8,6	4,77	3,90	10,8
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	5,22	4,94	11,0	3,98	2,52	5,6	4,60	3,73	8,3
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,62	0,62	-	0,74	0,74	-	-	-	-

* У – урожайность, т/га, **П – прибавка урожайности, т/га, ***О – окупаемость 1 кг д. в. удобрений прибавкой урожая, кг / * У – yield, t/ha, П - yield increase, t/ha, О - payback of 1 kg a.i. of fertilizers by yield increase, kg

В 2020 г. урожайность ячменя без применения удобрений составила 1,46 т/га, при внесении удобрений в дозе N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ она была наибольшей – 4,55 т/га. Как и в предыдущий год исследований, наименьшую прибавку урожайности зерна ячменя получили при внесении хлористого калия (K₆₀₋₉₀) и двойного суперфосфата с хлористым калием (P₆₀K₆₀): 0,13-0,16 и 0,24 т/га соответственно. Окупаемость основной продукцией 1 кг д. в. удобрений оказалась самой высокой при внесении одной аммиачной селитры в дозах N₆₀ и N₁₂₀ – 12,3 и 13,8 кг зерна.

В среднем за два года урожайность ячменя в контрольном варианте составила 0,87 т/га, наибольшая прибавка урожайности зерна получена при внесении максимальных доз NPK по 120 и 150 кг д. в./га – 3,90 и 3,73 т/га с окупаемостью 1 кг. д. в. 10,8-8,3 кг зерна. Окупа-

емость основной продукцией минеральных удобрений была самой высокой при внесении аммиачной селитры в дозе N₆₀ – 24,2 кг зерна.

Согласно ГОСТ 28672-2019⁵, натура зерна ячменя 1 класса должна быть не менее 630 г/л, 2 класса – не менее 570 г/л, для 3 класса без ограничений. В наших исследованиях в 2019 г. натура зерна ячменя сорта Новичок соответствовала 1 классу качества и находилась в пределах 646-665 г/л и не имела достоверных различий по вариантам. В 2020 г. этот показатель был несколько выше и находился в пределах 664-678 г/л, что так же соответствует 1 классу качества, без существенных различий по изучаемым вариантам.

Согласно Е. Д. Казакову⁶, зерно ячменя с большей массой 1000 зерен имеет лучшие технологические свойства, и, как следствие, больший выход готовой продукции – крупы.

⁵ГОСТ 28672-2019. Ячмень. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с. URL: https://allgosts.ru/67/060/gost_28672-2019

⁶Казаков Е. Д. Методы оценки качества зерна. М.: Агропромиздат, 1987. 215 с.

В исследованиях И. Н. Щенниковой [11] сорт ярового ячменя Новичок имел массу 1000 зерен, равную 45,3 г. По данным А. Mutlu [12], применение удобрений увеличивало урожайность ячменя, высоту растений и массу 1000 семян в 50-56 % случаев. В наших исследованиях в 2019 г. получена масса 1000 зерен в интервале 47,2-49,8 г без существенных различий по вариантам внесения минеральных удобрений, в 2020 г. этот показатель варьировал от 44,3 до 46,3 г.

Таким образом, в среднем за 2 года исследований возрастающие дозы и соотношения минеральных удобрений не оказали существенного влияния на технологические свойства зерна ярового ячменя. При проведении корреляционного анализа полученных данных установлено, что с возрастанием доз минеральных удобрений натуральный вес зерна ячменя снижался ($r = -0,46$, $p = 0,05$), а масса

1000 зерен возрастала ($r = 0,47$). Между массой 1000 зерен и натурой зерна ячменя установлена слабая отрицательная связь ($r = -0,28$).

Согласно ГОСТ Р53900-2010⁷, зерно ячменя, предназначенное для фуражного использования, делится на три класса качества по содержанию сырого протеина и сырой клетчатки. Фуражное зерно ячменя первого класса должно содержать в пересчете на 1 кг более 130 г сырого протеина и менее 70 г сырой клетчатки, второго класса – соответственно 120-130 г и 70-90 г, третьего класса – менее 120 г сырого протеина и более 90 г клетчатки.

В 2019 г. в вариантах с внесением N_{60} , N_{120} , $N_{120}P_{120}$, $N_{120}K_{120}$ и возрастающих доз НРК получено зерно ячменя 2 класса с содержанием сырого протеина от 120,3 до 129,3 г/кг (табл. 3). В остальных вариантах содержание протеина существенно ниже – 99,4-119,5 г/кг зерна, что соответствовало 3 классу качества.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества зерна ярового ячменя сорта Новичок, г/кг /
Table 3 – Physical-and-chemical quality indicators of spring barley of the Novichok variety grain, g/kg

Доза удобрений / Fertilizer dose	Сырой протеин / Crude protein			Сырая клетчатка / Crude fiber		
	2019 г.	2020 г.	среднее / average	2019 г.	2020 г.	среднее / average
$N_0P_0K_0$ – контроль / $N_0P_0K_0$ – control	105,2	118,3	111,8	37,2	26,1	31,7
N_{60}	123,3	113,4	118,4	38,2	27,1	32,7
P_{60}	119,5	113,2	116,4	34,1	27,1	30,6
K_{60}	101,2	115,8	108,5	36,3	32,0	34,2
$N_{60}P_{60}$	104,0	108,4	106,2	39,0	30,2	34,6
$N_{60}K_{60}$	105,6	117,7	111,7	36,8	34,3	35,6
$P_{60}K_{60}$	104,3	101,9	103,1	36,9	32,9	34,9
N_{120}	120,3	119,6	120,0	36,7	35,7	36,2
P_{120}	119,1	111,4	115,3	35,9	31,1	33,5
K_{120}	99,4	112,9	106,2	38,1	30,9	34,5
$N_{120}P_{120}$	129,3	119,4	124,4	31,7	30,0	30,9
$N_{120}K_{120}$	124,9	117,3	121,1	35,3	35,9	35,6
$P_{120}K_{120}$	116,6	118,8	117,7	35,3	30,6	33,0
$N_{30}P_{30}K_{30}$	123,9	113,8	118,9	38,2	35,5	36,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$	120,7	111,4	116,1	39,4	31,9	35,7
$N_{90}P_{90}K_{90}$	128,4	118,4	123,4	36,9	32,0	34,5
$N_{120}P_{120}K_{120}$	129,5	119,8	124,7	35,5	33,6	34,6
$N_{150}P_{150}K_{150}$	123,9	114,6	119,3	34,9	29,0	32,0
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	11,2	$F_{\phi} < F_T$	-	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	-

⁷ГОСТ Р53900-2010. Ячмень кормовой. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2011. 1 с. URL: <http://www.gostedu.ru/50191.html>

В 2020 г. во всех изучаемых вариантах содержание сырого протеина соответствовало 3 классу качества зерна и не превышало 120 г/кг.

В среднем за 2 года исследований только варианты N₁₂₀, N₁₂₀P₁₂₀, N₁₂₀K₁₂₀, N₉₀P₉₀K₉₀, N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ обеспечили содержание сырого протеина, соответствующее 2 классу качества. Установлена средняя положительная связь роста этого показателя с увеличением доз минеральных удобрений (r = 0,55).

По содержанию сырой клетчатки в оба года исследований получено зерно 1 класса. В 2019 г. содержание сырой клетчатки варьировало от 34,9 до 39,4 г/кг зерна и от 26,1 до 35,9 г/кг в 2020 г., без существенных различий по изучаемым вариантам. В среднем за 2 года этот показатель находился в пределах

30,6-36,9 г/кг зерна. Корреляционной связи содержания сырой клетчатки и возрастающих доз минеральных удобрений не установлено.

Экономическую эффективность возделывания ярового ячменя определяли по типовым технологическим картам. Цена за 1 тонну минеральных удобрений на декабрь 2020 г. составляла: аммиачная селитра 15 тыс. руб., двойной гранулированный суперфосфат 23 тыс. руб., хлористый калий 20,1 тыс. руб.

При цене реализации 1 т фуражного зерна ячменя 10 тыс. руб. стоимость основной продукции в контрольном варианте составила всего 8700 руб/га (табл. 4). Внесение NPK по 120 и 150 кг д.в. повысило стоимость основной продукции до 46000-47650 руб/га.

Таблица 4 – Экономическая эффективность возделывания ярового ячменя сорта Новичок / Table 4 – Economic efficiency of spring barley of the Novichok variety cultivation

<i>Доза удобрений / Fertilizer dose</i>	<i>Стоимость продукции, руб/га / Production cost, rub/ha</i>	<i>Затраты, руб/га / Costs, rub/ha</i>	<i>Прибыль, руб/га / Profit, rub/ha</i>	<i>Себестоимость, руб/т / Prime cost, rub/t</i>	<i>Рентабельность, % / Profitability, %</i>
N ₀ P ₀ K ₀ – контроль / N ₀ P ₀ K ₀ – control	8700	13003	-4303	14946	-33,1
N ₆₀	23200	16087	7113	6934	44,2
P ₆₀	15800	16330	-530	10335	-3,2
K ₆₀	12050	15220	-3170	12631	-20,8
N ₆₀ P ₆₀	30900	19422	11478	6285	59,1
N ₆₀ K ₆₀	24400	18277	6123	7491	33,5
P ₆₀ K ₆₀	19100	18548	552	9711	3,0
N ₁₂₀	29400	19061	10339	6483	54,2
P ₁₂₀	22200	19648	2552	8850	13,0
K ₁₂₀	12000	17396	-5396	14497	-31,0
N ₁₂₀ P ₁₂₀	35900	25614	10286	7135	40,2
N ₁₂₀ K ₁₂₀	32050	23446	8604	7315	36,7
P ₁₂₀ K ₁₂₀	26850	24059	2791	8961	11,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	22450	17335	5115	7722	29,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	34100	21639	12461	6346	57,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	38000	25841	12159	6800	47,1
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	47650	30119	17531	6321	58,2
N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀	46000	34247	11753	7445	34,3

Производственные затраты в пересчете на 1 га с увеличением доз вносимых удобрений возрастали. В случае использования одного вида минерального удобрения затраты были наименьшими при внесении

K₆₀ (15220 руб.) и K₁₂₀ (17396 руб.). При внесении двух видов минеральных удобрений снижение производственных затрат обеспечили азотно-калийные в дозах N₆₀K₆₀ (18277 руб.) и N₁₂₀K₁₂₀ (23446 руб.).

В вариантах с тройным сочетанием удобрений минимальная доза $N_{30}P_{30}K_{30}$ обеспечила наименьшие производственные затраты (17335 тыс. руб.), с увеличением дозы этот показатель возрастал до 34247 тыс. руб.

Совсем не получили условный чистый доход (прибыль) в контрольном варианте, при внесении 60 кг д. в./га двойного суперфосфата, 60 и 120 кг д. в./га хлористого калия. Незначительный условный чистый доход отмечен при внесении фосфорно-калийных удобрений в дозе $P_{60}K_{60}$ – 552 руб./га. Наибольший условный чистый доход получен при внесении азотно-фосфорно-калийных удобрений из расчета 120 кг д. в./га – 17531 тыс. руб.

Себестоимость 1 т основной продукции напрямую зависела от полученной урожайности зерна ячменя. Низкая урожайность в контрольном варианте без применения удобрений и при внесении хлористого калия в дозах K_{60} и K_{120} способствовала увеличению себестоимости до 12631-14946 тыс. руб./т. Себестоимость 1 т зерна ячменя ниже 6,5 тыс. руб. получена при внесении $N_{60}P_{60}$, N_{120} , $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Нерентабельно выращивать ячмень без применения минеральных удобрений, а также при внесении только 60 кг д. в./га двойного суперфосфата или 60-120 кг д. в./га хлористого калия. Высокую рентабельность показало внесение азотно-фосфорных удобрений $N_{60}P_{60}$ (59,1 %), аммиачной селитры N_{120} (54,2 %), азотно-фосфорно-калийных в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ (57,6 %) и $N_{120}P_{120}K_{120}$ (58,2 %). По результатам исследований можно рекомендовать сельхозтоваропроизводителям, которые применяют только азотные удобрения, при возделывании ячменя вносить аммиачную селитру в дозе N_{120} . При применении азотно-фосфорных удобрений можно вносить аммиачную селитру и двойной суперфосфат в дозе $N_{60}P_{60}$. Использование азотно-фосфорно-калийных удобре-

ний под ячмень рекомендуется в оптимальной по действующему веществу дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Выводы. Применение в течение 43 лет возрастающих доз NPK (по 30...150 кг д. в./га) существенно увеличило в пахотном слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы содержание подвижного фосфора (на 40-242 %), обменного калия (на 16-41 %) и гумуса (на 0,19-0,40 абс. %) относительно варианта без удобрений. Отмечено подкисление почвы при внесении NPK в дозах по 90-150 кг д. в./га.

Урожайность ячменя в среднем за 2019-2020 гг. в контрольном варианте составила 0,87 т/га, наибольшая прибавка урожайности зерна получена при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 3,90 т/га, самая высокая окупаемость зерном 1 кг действующего вещества минеральных удобрений получена при внесении N_{60} – 24,2 кг.

В среднем за два года исследований возрастающие дозы и соотношения минеральных удобрений не оказали существенного влияния на технологические свойства зерна ярового ячменя.

Содержание сырого протеина в зерне ячменя с увеличением доз минеральных удобрений возрастало ($r = 0,55$), однако для достижения 2 класса качества по этому показателю необходимо внесение не менее 90 кг д. в./га аммиачной селитры. По содержанию сырой клетчатки получено зерно 1 класса качества, данный показатель не зависел от применения удобрений.

Высокую рентабельность показало внесение азотно-фосфорных удобрений $N_{60}P_{60}$ (59,1 %), азотного удобрения N_{120} (54,2 %), азотно-фосфорно-калийных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ (57,6 и 58,2 %). Для производства зерна ячменя сорта Новичок рекомендуется внесение 120 кг д. в./га аммиачной селитры или 60 кг д. в./га аммиачной селитры с 60 кг д. в./га двойного суперфосфата, или сложных азотно-фосфорно-калийных удобрений в дозах, эквивалентных 60, 120 кг д. в./га по каждому элементу питания.

Список литературы

1. Елькина Г. Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 278 с.
2. Гаврилова А. Ю., Конова А. М., Понкратенкова И. В., Мёрзлая Г. Е., Самойлов Л. Н. Эффективное использование органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Смоленской области. Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 гг.: мат-лы Всеросс. координационного совещ. научных учреждений-участников Геосети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА; 2018. С. 63-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35672851>
3. Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г., Иванова О. В. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна озимой ржи в условиях Предуралья. Плодородие. 2020;(2(113)):23-26. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.07>

4. Алиев А. М., Самойлов Л. Н., Цимбалист Н. И. Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги лет исследований в длительном полевом опыте). *Агрохимия*. 2016;(2):20-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26019034>
5. Конова А. М., Гаврилова А. Ю. Влияние длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность севооборота. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016;(11-5(53)):27-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27379575>
6. Жилин Н. А., Щенникова И. Н. Методы и результаты селекции ячменя в Волго-Вятском регионе. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020;60(1):79-82. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42652494>
7. Кирпичников Н. А., Бижан С. П. Влияние фосфорных и цинковых удобрений на урожай и качество зерна ярового ячменя в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы. *Плодородие*. 2020;(5(116)):36-38. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.116.10>
8. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*). *The Journal of Agricultural Science*. 1986;107(1):187-213. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600066946>
9. Procházková B., Málek J., Dovrtěl J. Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barley. *Plant Soil Environ*. 2002;48:27-32. DOI: <https://doi.org/10.17221/4204-PSE>
10. Ruchkina A., Ushakov R., Golovina N., Aseev V., Bobrakov F. Prospects for the development and use of a clay-nitrogen mixture as a fertilizer. *E3S Web of Conferences*. 2020;222:02043. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202043>
11. Щенникова И. Н. Методы и результаты селекции ячменя на устойчивость к кислым почвам. Создание сортов овса и ячменя для кислых почв. Теория и практика. Saarbrücken: LAP, 2012. С. 307-333. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36939767>
12. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021;29(12):10840-10846. URL: https://www.prt-parlar.de/download_feb_2020/

References

1. El'kina G. Ya. *Optimizatsiya mineral'nogo pitaniya rasteniy na podzolistykh pochvakh*. [Optimization of mineral nutrition of plants on podzolic soils]. Ekaterinburg: *UrO RAN*, 2008. 278 p.
2. Gavrilova A. Yu., Konova A. M., Ponkratenkova I. V., Merzlaya G. E., Samoylov L. N. *Effektivnoe ispol'zovanie organicheskikh i mineral'nykh udobreniy na dernovo-podzolistykh pochvakh Smolenskoj oblasti*. [Effective use of organic and mineral fertilizers on sod-podzolic soils of the Smolensk region]. *Itogi vypolneniya programmy fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy gosudarstvennykh akademiy na 2013-2020 gg.: mat-ly Vseross. koordinatsionnogo soveshch. nauchnykh uchrezhdeniy-uchastnikov Geoseti opytov s udobreniyami*. [Results of the implementation of the program of fundamental scientific research of state academies for 2013-2020: Proceedings of All-Russian coordination session of scientific institutions participating in the Geoset of Fertilizer Experiments]. Moscow: *VNIIA*, 2018. pp. 63-72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35672851>
3. Zav'yalova N. E., Shishkov D. G., Ivanova O. V. *Vliyanie mineral'nogo pitaniya na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy rzhi v usloviyakh Predural'ya*. [Influence of mineral nutrition on yield and quality of winter rye grain in preurals]. *Plodородие*. 2020;(2(113)):23-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.07>
4. Aliev A. M., Samoylov L. N., Tsimbalist N. I. *Effektivnost' kompleksnogo primeneniya sredstv khimizatsii v Nечерноземной зоне (itogi let issledovaniy v dlitel'nom polevom opyte)*. [The efficiency of complex application of chemicals in the Non-chernozem zone (the results of 55 years of research in long-term field experiment)]. *Agrokhimiya*. 2016;(2):20-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26019034>
5. Konova A. M., Gavrilova A. Yu. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobreniy na produktivnost' sevooborota*. [Influence of long application of increasing doses of fertilizers on efficiency of crop rotation]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2016;(11-5(53)):27-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27379575>
6. Zhilin N. A., Shchennikova I. N. *Metody i rezul'taty seleksii yachmenya v Volgo-Vyatskom regione*. [Barley breeding methods and results in the Volga-Vyatka region]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;60(1):79-82. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42652494>
7. Kirpichnikov N. A., Bizhan S. P. *Vliyanie fosfornykh i tsinkovykh udobreniy na urozhay i kachestvo zerna yarovogo yachmenya v zavisimosti ot izvestkovaniya dernovo-podzolistoy pochvy*. [Influence of phosphoric and zinc fertilizers on yields and grain quality of spring barley depending on the liming of sod-podzolic soil]. *Plodородие*. 2020;(5(116)):36-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.116.10>
8. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*). *The Journal of Agricultural Science*. 1986;107(1):187-213. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600066946>
9. Procházková B., Málek J., Dovrtěl J. Effect of different straw management practices on yields of continuous spring barley. *Plant Soil Environ*. 2002;48:27-32. DOI: <https://doi.org/10.17221/4204-PSE>

10. Ruchkina A., Ushakov R., Golovina N., Aseev V. Bobrakov F. Prospects for the development and use of a clay-nitrogen mixture as a fertilizer. E3S Web of Conferences. 2020;222:02043.

DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202043>

11. Shchennikova I. N. *Metody i rezul'taty selektsii yachmenya na ustoychivost' k kislym pochvam*. [Methods and results of barley breeding for resistance to acidic soils]. *Sozdanie sortov ovsa i yachmenya dlya kisllykh pochv. Teoriya i praktika*. [Breeding of varieties of oats and barley for acidic soils. Theory and practice]. Saarbrücken: LAP, 2012. pp. 307-333. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36939767>

12. Mutlu A. The effect of organic fertilizers on grain yield and some yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.). Fresenius Environmental Bulletin. 2021;29(12):10840-10846. URL: https://www.prt-parlar.de/download_feb_2020/

Сведения об авторах

✉ **Попов Фёдор Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007,

e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Козлова Людмила Михайловна, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166 а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007,

e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>

Носкова Евгения Николаевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории земледелия, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

Information about the authors

✉ **Fyodor A. Popov**, PhD in Agricultural science, senior researcher, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9801-3453>, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Lyudmila M. Kozlova, DSc in Agricultural science, leading researcher, Head of the Department of Crop Farming, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6363-0996>

Eugenia N. Noskova, PhD in Agricultural science, researcher, the Laboratory of Soil Management, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

✉ – Для контактов / Corresponding author