

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ /
FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.351-359>

УДК 633.853.494(470.2)

**Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе Российской Федерации**

© 2022. А. М. Шпанев✉, В. В. Смук

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Данные о влиянии абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности сельскохозяйственных культур важны для разработки системы управления производственным процессом. Исследования проводили в 2012-2019 гг. на базе агроэкологического стационарного опыта по изучению эффективности длительного применения минеральных удобрений ($N_0P_0K_0$, $N_{65}P_{50}K_{50}$, $N_{100}P_{75}K_{75}$) и интегрированной системы защиты растений. Погодные условия оказались наиболее значимыми среди всех факторов, влияющих на урожайность ярового рапса сорта Оредеж 4 в Северо-Западном регионе Российской Федерации. Повышенную чувствительность к условиям увлажнения и теплообеспеченности растения рапса проявляют в первой половине вегетации. При этом на протяжении большей части периода вегетации культуры и особенно на начальных этапах онтогенеза осадки оказывают положительное ($r = 0,43...0,67$, $p \leq 0,05$), а температура отрицательное воздействие на урожайность рапса ($r = -0,44...-0,50$, $p \leq 0,05$). Интегрированная система защиты растений имела большее значение в формировании урожая ярового рапса (19,8 %), чем внесение минеральных удобрений (2,2 %). По результатам проведения всех необходимых защитных мероприятий усредненная за годы исследований величина сохраненного урожая ярового рапса составляла 1,04 т/га (90 %), в годы массового размножения капустной моли достигала 0,96 т/га (213 %), сильного развития альтернариоза – 1,46 т/га (248 %). В отсутствие защитных мероприятий внесение удобрений, как и в целом возделывание ярового рапса, становится нецелесообразным. Совместное применение минеральных удобрений и средств защиты растений на посевах ярового рапса обеспечивало формирование урожайности семян 1,97-2,13 т/га, что превосходило контроль ($N_0P_0K_0$, без средств защиты) на 1,06-1,22 т/га (117-134 %).

Ключевые слова: *Brassica napus* L., погодные условия, фитосанитарное состояние, минеральные удобрения, интегрированная система защиты растений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (тема № FGEG-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шпанев А. М., Смук В. В. Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):351-359. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.351-359>

Поступила: 04.04.2022

Принята к публикации: 17.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation

© 2022. Alexander M. Shpanev✉, Vasilii V. Smuk

Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

Data on the influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of crop yields are important for developing the system for production process managing. The studies were carried out in 2012-2019 on the basis of agroecological stationary experiment aimed at investigating the effectiveness of long-term use of mineral fertilizers ($N_0P_0K_0$, $N_{65}P_{50}K_{50}$, $N_{100}P_{75}K_{75}$) and an integrated plant protection system. Weather conditions turned out to be the most significant among all factors affecting the yield of spring rapeseed Oredezh 4 in the North-West region of the Russian Federation. Rapeseed plants show increased sensitivity to moisture and heat supply conditions in the first half of the growing season. At the same time, during the most of the growing season of the crop and especially at the initial stages of ontogenesis the rainfall has a positive effect ($r = 0,43...0,67$, $p \leq 0,05$), and temperature has a negative effect on rapeseed yield ($r = -0,44...-0,50$, $p \leq 0,05$). The integrated plant protection system was more important in the formation of the spring rapeseed crop (19.8 %) than the application of mineral fertilizers (2.2 %). According to the results of all the necessary protective measures, the averaged value of the preserved spring rapeseed yield over the years of the research was 1.04 t/ha (90 %), in the years of mass reproduction of the cabbage moth

it reached 0.96 t/ha (213 %), in the years of strong development of *Alternaria* – 1.46 t/ha (248 %). In the absence of protective measures, the application of fertilizers, as well as the cultivation of spring rapeseed in general, becomes impractical. The combined use of mineral fertilizers and plant protection products in spring rapeseed sowings ensured the formation of a seed yield of 1.97-2.13 t/ha, which exceeded the control (N₀P₀K₀, without means of protection) by 1.06-1.22 t/ha (117-134 %).

Keywords: *Brassica napus* L., weather conditions, phytosanitary condition, mineral fertilizers, integrated plant protection system

Acknowledgments: 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 Agrophysical Research Institute (theme No. FGEG-2022-0007).

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: Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):351-359. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.351-359>

Received: 04.04.2022

Accepted for publication: 17.05.2022

Published online: 23.06.2022

Система управления продукционным процессом основана на знаниях рационального использования абиотических, биотических и антропогенных факторов на формирование урожайности сельскохозяйственных культур. При этом абиотические и биотические факторы воздействуют на агробиоценозы в неуправляемом режиме. Абиотические факторы – это, прежде всего, погодные условия, способствующие или не способствующие реализации потенциала продуктивности культурных растений в конкретном году. Влияние гидро-термических условий вегетационного периода на урожайность семян ярового рапса по литературным данным значительно и составляет 54-67 % [1, 2]. Согласно биологическим особенностям культуры, большое значение имеет выпадение осадков в начальный период роста растений, поскольку рапс проявляет повышенную чувствительность к иссушению верхнего слоя почвы [3]. Избыточное увлажнение в этот период на легких по гранулометрическому составу почвах также неблагоприятно, так как приводит к образованию корки, неравномерности появления всходов и снижению полевой всхожести семян [4].

К числу наиболее действенных антропогенных факторов относятся управление питательным режимом с помощью внесения удобрений и фитосанитарным состоянием посевов посредством проведения защитных мероприятий [5]. Рапс предъявляет повышенные требования к обеспечению основными питательными веществами, что предполагает высокую отзывчивость этой культуры на внесение удобрений. Согласно опубликованным в отечественной и зарубежной литературе данным, внесением минеральных удобрений, в зависимости от условий увлажнения, достигается повышение урожайности ярового рапса на 36-70 % [6, 7].

При этом наилучшие результаты отмечались при применении полного минерального удобрения, доля азота в приросте урожайности рапса составляла 24-34 % [8]. Потери урожая ярового рапса от вредных организмов обычно велики и проведение защитных мероприятий оправдано в абсолютном большинстве случаев. Величина сохраненного урожая от применения средств защиты растений, по литературным данным, составляет 10-53 %, а в годы эпифитотийного развития болезней или массового размножения вредителей значительно больше [9, 10, 11]. При этом защитные мероприятия способствуют повышению эффективности минеральных удобрений, что приводит к еще большему росту продуктивности культуры. За счет совместного применения минеральных удобрений и средств защиты растений, когда проявляется эффект взаимодействия, усиливающий их отдельное влияние, достигается максимальная прибавка урожайности ярового рапса [12]. Далее в порядке снижения значимости при возделывании ярового рапса располагаются такие факторы, как сортовые особенности, сроки и нормы высева культуры [13].

Для Северо-Западного региона РФ в последние годы просматривается общая для всей страны тенденция существенного увеличения посевных площадей ярового рапса [14]. Изучение вопросов эффективного использования природно-климатических особенностей региона и отдельных элементов технологии возделывания является приоритетным и значимым для широкого внедрения культуры и получения высоких урожаев.

Цель исследований – провести анализ результатов многолетнего изучения влияния абиотических (погодные условия) и антропогенных (минеральные удобрения, интегрированная система защиты растений) факторов

на формирование урожайности ярового рапса в Северо-Западном регионе РФ.

Новизна исследований. Определено значение погодных условий, минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в формировании урожайности ярового рапса на Северо-Западе РФ. Выявлены зависимости урожайности данной культуры от суммы активных температур и количества осадков в разные периоды вегетации ярового рапса. Приведены фактические данные по отдельному и совместному влиянию средств химизации на урожайность и основные элементы структуры урожая ярового рапса.

Материал и методы. Исследования проводили в период 2012-2019 гг. в агроэкологическом стационаре Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института (Ленинградская область, Гатчинский район), на полях которого функционирует многоуровневая система полевого экспериментирования, состоящая из длительных стационарных и краткосрочных детализирующих опытов в смежных областях сельскохозяйственной науки [15]. Почва – дерново-слабоподзолистая супесчаная, мощность пахотного слоя – 23 см, рН_{KCl} – 4,6, содержание гумуса (по Тюрину) – 1,9 %, подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову) – 257 и 92 мг/кг соответственно.

Агроэкологический стационар является длительным фундаментальным опытом и представляет собой 7-польный зернотравяно-пропашной севооборот с классическим для Северо-Западного региона составом и чередованием культур. Севооборот освоен в 1982 г. Предшественником ярового рапса являлся картофель. В изучении находился сорт Ордеж 4, имеющий допуск к возделыванию на территории данного региона. Площадь севооборота – 4,2 га, одного поля – 0,60 га. В период исследований практиковались разные сроки посева – от ранних (первая декада мая) до поздних (третья декада мая). Норма высева составляла 10 кг/га.

На полях севооборота развернута двухфакторная схема опыта по изучению эффективности длительного применения минеральных удобрений (МУ) из расчета планируемой урожайности возделываемых культур (N₀P₀K₀, N₆₅P₅₀K₅₀, N₁₀₀P₇₅K₇₅) и интегрированной системы защиты растений (ИСЗР). Интегрированная система защиты ярового рапса состояла из протравливания семенного материала, обработок гербицидом до появления всходов

культурных растений, инсектицидами против капустной моли и рапсового цветоеда, фунгицидом при образовании стручков в нижнем ярусе растений в защите от альтернариоза. Площадь делянок с минеральными удобрениями – 600 м² (20 × 30 м), системой защиты растений – 300 м² (20 × 15 м), повторность – 3-кратная.

Наблюдения за ростом и развитием растений ярового рапса и фитосанитарным состоянием посевов проводили на замаркированных постоянных учетных площадках 0,1 м², размещенных в поле согласно схеме опыта, в соответствии с методическими указаниями [16]. Ежегодное их количество составляло 72, т.е. по 12 в каждом из вариантов опыта. С помощью постоянных площадок велся учет урожая и основных элементов его структуры.

Статистическая обработка полученных данных состояла из корреляционного и дисперсионного по схеме двухфакторного опыта анализов, проводимых в программе Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. Годы исследований значительно различались по погодным условиям (табл. 1). Избыточным увлажнением характеризовался 2012 г., дефицит осадков наблюдался в 2014, 2015 и 2018 гг. Суммарное количество осадков, выпавших за период вегетации ярового рапса в 2013 и 2017 гг., соответствовало среднепогодному уровню (386,5 мм). Сумма активных температур указывает на тенденцию потепления климата в последнее десятилетие. Так, повышенный температурный режим отмечался в 2013, 2015, 2016, 2019 гг. и особенно 2018 г. Значения гидротермического коэффициента на протяжении большинства лет исследований варьировали в пределах 1,0-3,3.

Варьирование урожайности семян ярового рапса по годам в нашем опыте составляло от 0,68 до 2,18 т/га при среднем значении равном 1,43 т/га. В 2016 г. из-за сильных повреждений листового аппарата и соцветий ярового рапса гусеницами капустной моли наблюдалась полная потеря продуктивности растений, чем объясняется отсутствие данных по урожайности в этом году.

Сильная степень варьирования во многом определялась погодными условиями периода вегетации культуры. На долю влияния этого фактора приходилось 29 %, тогда как совокупный вклад абиотических и антропогенных факторов в формирование урожайности ярового рапса составил 67,1 %. Наибольшая величина урожайности была получена в условиях самого

увлажненного 2012 г., что обусловлено биологическими особенностями рапса как влаголюбивой культуры (табл. 1). При этом обозначилась отрицательная связь урожайности рапса с теплообеспеченностью периода вегетации ($r = -0,52, p \leq 0,05$), который составлял по срокам от 97 до 123 дней. Более поздний посев

в третьей декаде мая приводил к смещению сроков и удлинению периода созревания, которое проходило в сентябре. При неравномерном созревании, характерном для данной культуры, это означало большие потери урожая на корню в результате растрескивания стручков.

Таблица 1 – Метеорологические условия, урожайность и продолжительность периода вегетации ярового рапса в годы исследований /

Table 1 – Meteorological conditions, yield and duration of the growing season of spring rapeseed in the years of the research

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>2012 г.</i>	<i>2013 г.</i>	<i>2014 г.</i>	<i>2015 г.</i>	<i>2017 г.</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2019 г.</i>
Сумма активных температур, °C / Sum of active temperatures, °C	1627	1813	1737	1868	1760	1959	1843
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	538,5	361,6	251,8	186,8	340,5	257,0	380,4
Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient	3,3	2,0	1,4	1,0	1,9	1,3	2,1
Урожайность семян, т/га / Yield of seeds, t/ha	2,18	0,77	1,73	2,05	1,50	1,24	0,68
Период вегетации, дни / Growing season, days	104	97	110	122	123	109	123

Детализированный анализ корреляционной матрицы позволил уточнить определяющее влияние метеоусловий на урожайность ярового рапса в разрезе отдельных периодов развития культуры. Так, отчетливо обозначилось положительное влияние осадков, выпадающих в период от появления всходов до образования розетки листьев, особенно в вариантах с применением минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений (табл. 2). В последующий период развития культуры, ограничивающийся фазой цветения, просматривалась в большинстве случаев отрицательная связь между суммарным количеством осадков и урожайностью ярового рапса ($r = -0,38 \dots -0,75$). Во второй половине вегетации потребность в осадках у растений ярового рапса не была явно выраженной, что подтверждается статистически незначимыми коэффициентами корреляции. Отрицательное влияние температуры на формирование урожайности отмечалось в первой половине вегетации ярового рапса особенно в отсутствии защитных мероприятий на самых ранних этапах онтогенеза. В условиях жаркой засушливой погоды остро сказывались на продуктивности растений и их выживаемости повреждения, наносимые всходам крестоцветными блошками. Сильное отрицательное воздействие высоких температур в период «розетка листьев-цветение» обуслов-

лено формированием габитуса растений, ветвления, высоты и массы, которые имеют определяющее значение для реализации потенциала продуктивности.

Можно отметить положительную связь между значением гидротермического коэффициента и урожайностью рапса в период «всходы-розетка листьев», отрицательную в период «розетка листьев-цветение», а далее в большинстве случаев слабую и положительную.

Влияние погодных условий распространялось на эффекты, связанные с улучшением минерального питания и фитосанитарной обстановки в посевах ярового рапса (табл. 3). Особенно сильным оказалось влияние метеоусловий на эффективность применяемых минеральных удобрений (10,2 %). Вклад интегрированной системы защиты растений (19,8 %) при возделывании ярового рапса оказался значительно более весомым, чем минерального питания (2,2 %). При этом в отдельные годы внесение минеральных удобрений определяло величину сформированной урожайности ярового рапса на 0,3-37,3 %, а проведение защитных мероприятий – на 1,6-59,9 %. Как правило, отмечалось преимущественное влияние одного из этих факторов. Взаимодействие минеральных удобрений и средств защиты растений при влиянии на урожайность рапса достигало в отдельные годы 10 % или снижалось до 0,5 % (табл. 4).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции между урожайностью ярового рапса и погодными условиями в разные периоды развития культуры на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) / Table 2 – Correlation coefficients between the yield of spring rapeseed and weather conditions in different periods of crop development in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

ИСЗР / IPPS	МУ / MF	Сумма активных температур, °C / Sum of active temperatures, °C				Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm				Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient			
		В-Р	Р-Ц	Ц-З	С	В-Р	Р-Ц	Ц-З	С	В-Р	Р-Ц	Ц-З	С
Без ИСЗР / Without IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	0,25	-0,49*	-0,05	0,04	0,03	-0,65*	0,07	-0,08	0,01	-0,48*	0,08	-0,05
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	-0,50*	-0,10	0,24	-0,03	0,43*	-0,67*	0,31	0,25	0,56*	-0,70*	0,26	0,27
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	-0,44*	0,05	0,47*	-0,15	0,27	-0,49*	0,34	0,10	0,42*	-0,54*	0,22	0,20
ИСЗР / IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	0,40	-0,74*	-0,34	0,43*	0,15	-0,75*	-0,36	-0,36	0,02	-0,50*	-0,29	-0,44*
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	-0,20	-0,45*	-0,18	-0,09	0,47*	-0,59*	0,29	0,47*	0,51*	-0,50*	0,35	0,44*
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	-0,27	-0,41*	0,26	-0,26	0,67*	-0,38	0,19	0,23	0,74*	-0,27	0,15	0,36

Примечания: ИСЗР – интегрированная система защиты растений, МУ – минеральные удобрения, В-Р – всходы-розетка листьев, Р-Ц – розетка листьев-цветение, Ц-З – цветение-зеленая спелость, С – созревание; * достоверно при $p \leq 0,05$ /

Notes: IPPS – integrated plant protection system, MF – mineral fertilizers, В-Р – shoots-leaf rosette, Р-Ц – rosette of leaves-flowering, Ц-З – flowering-green ripeness, С – maturation; * reliable at $p \leq 0.05$

Таблица 3 – Вклад абиотических и антропогенных факторов в формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) / Table 3 – Contribution of abiotic and anthropogenic factors to the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

Фактор / Factor	Доля, % / Share, %
Погодные условия (Год) / Weather conditions (Year)	29,0*
Минеральные удобрения (МУ) / Mineral fertilizers (MF)	2,2*
Интегрированная система защиты растений (ИСЗР) / Integrated Plant Protection System (IPPS)	19,8*
Взаимодействие Год-МУ / Interactions Year + MF	10,2*
Взаимодействие Год-ИСЗР / Interactions Year + IPPS	3,3*
Взаимодействие МУ-ИСЗР / Interactions MU + IPPS	0,5
Взаимодействие Год-МУ-ИСЗР / Interactions Year + MF + IPPS	2,0*
Повторений / Iteration	0,8
Случайное / Random	32,1*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / * Reliable are $P \geq 0.95$.

Таблица 4 – Вклад средств химизации в формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) / Table 4 – Contribution of chemicals to the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

Фактор / Factor	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Минеральные удобрения (МУ) / Mineral fertilizers (MF)	37,3*	19,6*	12,0*	13,0*	12,4*	0,3	17,4*
Интегрированная система защиты растений (ИСЗР) / Integrated Plant Protection System (IPPS)	16,1*	51,9*	30,7*	23,4*	59,9*	1,6	47,9*
Взаимодействие МУ – ИСЗР / Interaction MF + IPPS	6,1*	1,8	1,3	0,5	3,4*	6,3*	10,0*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / * Reliable are $P \geq 0.95$.

Использование интегрированной системы защиты растений стабилизировало продуктивность ярового рапса по годам, что подтверждается снижением доли влияния погодных условий в 1,4 раза (табл. 5). Одновременно с этим, за счет улучшения фитосанитарной обстановки, возрастала роль минерального

питания (в 3,3 раза). Этим подтверждается преимущество комплексного применения средств химизации при возделывании ярового рапса на Северо-Западе РФ. Схожие эффекты нами были показаны ранее на картофеле, возделываемом в одном севообороте с яровым рапсом [17].

Таблица 5 – Влияние погодных условий и минерального питания на формирование урожайности ярового рапса на фоне применения интегрированной системы защиты растений (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) /

Table 5 – The influence of weather conditions and mineral nutrition on the formation of spring rapeseed yield against the background of the integrated plant protection system (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

Фактор / Factor	Доля, % / Share, %	
	без ИСЗР / without IPPS	ИСЗР / IPPS
Погодные условия (Год) / Weather conditions (Year)	48,6*	35,0*
Минеральные удобрения (МУ) / Mineral fertilizers (MF)	1,4*	4,6*
Взаимодействие Год-МУ / Interaction Year + MF	13,3*	16,4*
Повторений / Iteration	1,9	1,8
Случайное / Random	34,8*	42,2*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / * Reliable are $P \geq 0,95$.

Совместное применение средств химизации действительно приводило к значительному росту урожайности ярового рапса. По усредненным за весь период исследований данным, прибавка урожайности семян рапса под влиянием минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений, с учетом эффекта взаимодействия, составила 1,06-1,22 т/га, или 117-134 %. При этом густота продуктивных растений на момент

уборки урожая повышалась на 25-37 %, масса семян с одного растения – на 107-111 %, тогда как для показателя «масса 1000 семян» отмечалась тенденция к снижению (табл. 6). Количество стручков с растения увеличивалось под действием факторов химизации на 150-203 %, усредненная высота и сухая масса одного растения – на 36-43 % и 138-162 % соответственно на средне- и высокоудобренном вариантах.

Таблица 6 – Влияние средств химизации на урожайность и основные элементы структуры урожая ярового рапса на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, МФ АФИ, 2012-2015, 2017-2019 гг.) /

Table 6 – The influence of chemicalization agents on the yield and the main elements of the structure of the spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

ИСЗР / IPPS	МУ / MF	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Густота продуктивного стеблестоя, экз/м ² / The density of the productive stem, pcs/m ²	Масса семян с 1 растения, г / Seed weight per 1 plant, g	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g
Без ИСЗР / Without IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	0,91	126	0,73	3,5
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	1,19	169	0,77	3,0
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	1,04	144	0,75	2,7
ИСЗР / IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	1,65	153	1,40	3,4
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	2,13	172	1,54	3,3
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	1,97	158	1,51	3,2
НСР ₀₅ (ИСЗР) / LSD ₀₅ (IPPS)		0,12	1,28	0,11	0,09
НСР ₀₅ (МУ) / LSD ₀₅ (MF)		0,16	1,16	0,14	0,12
НСР ₀₅ (ИСЗР МУ) / LSD ₀₅ (IPPS MF)		0,23	2,03	0,20	0,16

Сильное влияние на урожайность ярового рапса интегрированной системы защиты растений обусловлено высокой вредоносностью отдельных вредных организмов в условиях Северо-Запада России. Самая высокая отдача от реализуемой в нашем опыте системы интегрированной защиты ярового рапса отмечалась в годы массового размножения капустной моли (0,96 т/га – 213 %) и эпифитотийного развития альтернариоза (1,46 т/га – 248 %). Величина сохраненного урожая ярового рапса при проведении всего комплекса защитных мероприятий изменялась в пределах 0,74-0,94 т/га, или 79-89 % от фактической урожайности культуры в варианте без защиты растений, равной 0,91-1,19 т/га.

Среднепогодная прибавка урожая рапса от внесения минеральных удобрений составила 0,13-0,28 т/га (14-31 %). При этом внесение средних доз минеральных удобрений обеспечивало формирование большей урожайности, чем высоких, которые, согласно литературным данным, действительно способны оказывать негативное влияние на полевую всхожесть семян, рост и развитие растений рапса [18]. Разница по урожайности между соответствующими вариантами опыта в отсутствии защитных мероприятий составила 0,15 т/га, на фоне интегрированной системы защиты – 0,16 т/га. В 2015 и 2017 гг. положительные эффекты, связанные с действием удобрений, нивелировались сильным поражением посевов ярового рапса альтернариозом. Под влиянием минеральных удобрений отмечалось увеличение вегетативной массы культурных растений, удлинение периода

вегетации и сроков созревания, что усиливало поражение альтернариозом и снижение продуктивности рапса от данного заболевания. При этом фунгицидные обработки ограничивали проявление альтернариоза на растениях рапса, что позволяло получить ожидаемые эффекты от применения удобрений. Иная ситуация наблюдалась в 2013 г. при массовом размножении капустной моли, когда испытывающие дефицит минерального питания маломощные растения рапса значительно сильнее повреждались гусеницами данного вредителя. Хозяйственная эффективность применения минеральных удобрений на делянках, где было предусмотрено проведение защитных мероприятий, в том числе против гусениц капустной моли, составила 0,73 т/га, или 79 %.

Выводы. 1. Наиболее сильное влияние на формирование урожая ярового рапса оказывают погодные условия, связанные с эффектами от применения минеральных удобрений и средств защиты растений. При этом осадки оказывают положительное, а температура отрицательное воздействие на урожайность рапса на протяжении большей части периода вегетации культуры, особенно на начальных этапах онтогенеза.

2. Суммарный вклад антропогенных факторов (минеральное питание и интегрированная система защиты растений) оценивается в 22 %, при их неравнозначном долевом участии в формировании урожайности ярового рапса. Комплексное влияние этих двух факторов при их взаимодействии выражалось повышением урожайности рапса на 1,06-1,22 т/га, что от фактической урожайности на неудобренном и незащищаемом контроле (0,91 т/га) составляло 117-134 %.

Список литературы

1. Фесенко М. А., Шпанев А. М. Вклад факторов интенсификации земледелия и условий вегетации в формирование урожайности культур полевого севооборота. Аграрная Россия. 2015;(10):2-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24335905>
2. Цехмейструк Н. Г., Глубокий А. Н., Жижка Н. Г. Урожайность рапса ярового в зависимости от нормы высева и климатических условий зоны выращивания. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017;(2):87-91.
3. Гущина В. А., Лыкова А. С. Изменение урожайности и качества маслосемян ярового рапса в зависимости от приемов возделывания и погодных условий. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011;(6(80)):9-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16346053>
4. Вафина Э. Ф., Шатыхов И. Ш., Исламова Ч. М. Сроки посева и нормы высева в технологии возделывания ярового рапса на семена. Пермский аграрный вестник. 2018;(3(23)):42-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415060>
5. Voropaev V. V., Shpanev A. M., Lekomtsev P. V., Plyinskaya Ya. A. Remote means and methods of definition of homogeneous technological areas for precision management of mineral nutrition and phytosanitary condition of agrocenosis: International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Sophia, 2019. pp. 609-616.
6. Лапа В. В., Ивахненко Н. Н., Лопух М. С., Кулеш О. Г., Грачева А. А., Шумак С. М., Ломонос М. М. Качество семян ярового рапса в зависимости от систем удобрения. Почвоведение и агрохимия. 2012;(2(49)):109-121. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36159274>

7. Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние минеральных удобрений на элементы структуры и урожайность семян ярового рапса в условиях Красноярской лесостепи. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(7):41-43. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10710>
8. Хайруллин А. М., Багаутдинов Ф. Я., Гайфуллин Р. Р., Валитов А. В., Ахияров Б. Г. Влияние форм азотных удобрений на урожайность и биохимический состав семян рапса ярового. Пермский аграрный вестник. 2019;(2(26)):101-109. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40481945>
9. Гущина В. А., Агапкин Н. Д., Жеряков Е. В. Влияние пестицидов на урожайность и качество маслосемян ярового рапса. Нива Поволжья. 2008;(3(8)):5-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11530611>
10. Маковеева Н. Н. Продуктивность и качество семян ярового рапса при использовании средств защиты. Аграрный вестник Урала. 2008;(4(46)):58-60. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9956950>
11. Виноградов Д. В., Балабко П. Н., Жулин А. В. Эффективность химической защиты ярового рапса в Рязанской области. Агро XXI. 2010;(1-3):9-11. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/journal/20100103/20100103003.pdf>
12. Байкалова Р. П., Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на элементы структуры и урожайность ярового рапса. Вестник КрасГАУ. 2020;(3(156)):3-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42844535>
13. Курбангалиев Р. Н., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Влияние сроков и норм высева на урожайность сортов ярового рапса в Среднем Предуралье. Пермский аграрный вестник. 2018;(1(21)):64-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664916>
14. Пугачев П. М. Рапс 2019: итоги, реалии, перспективы. Комбикорма. 2020;(3):2-4.
15. Шпанев А. М. Экспериментальная база для дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем на Северо-Западе РФ. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019;16 (3):61-68. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39147375>
16. Зубков А. Ф. Методические указания по сбору полевой биоценологической информации с целью оценки вредоносности комплекса вредных организмов. Л.: ВИЗР, 1978. 18 с.
17. Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of potato yield. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2021: E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2021:01041. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46781169>
18. Устарханова Э. Г., Пенчуков В. М. Урожайность ярового рапса на черноземе выщелоченном в условиях неустойчивого увлажнения Краснодарского края. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2007;(2(137)):104-106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12415351>

References

1. Fesenko M. A., Shpanev A. M. Contribution of factors of intensification of agriculture and terms of vegetation to forming of the productivity of cultures of the field crop rotation. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2015;(10):2-6. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24335905>
2. Tsekhmeystruk N. G., Glubokiy A. N., Zhizhka N. G. Productivity of spring rapeseed depending on the seeding rate and climatic conditions of the growing zone. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2017;(2):87-91. (In Belarus).
3. Gushchina V. A., Lykova A. S. Change in yield and quality of spring rapeseed oilseeds depending on cultivation methods and weather conditions. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011;(6(80)):9-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16346053>
4. Vafina E. F., Shatykhov I. Sh., Islamova Ch. M. Seeding time and rate in the technology of spring rape cultivation for seeds. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2018;(3(23)):42-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415060>
5. Voropaev V. V., Shpanev A. M., Lekomtsev P. V., Ilyinskaya Ya. A. Remote means and methods of definition of homogeneous technological areas for precision management of mineral nutrition and phytosanitary condition of agrocenosis: International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Sophia, 2019. pp. 609-616.
6. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N., Lopukh M. S., Kulesh O. G., Gracheva A. A., Shumak S. M., Lomonos M. M. Spring rapeseed quality in dependence on fertilizer system. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2012;(2(49)):109-121. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36159274>
7. Bobrovskiy A. V., Kryuchkov A. A. Effects of mineral fertilisers on the structure and yield of spring rape-seed crops under the conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(7):41-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10710>
8. Khayrullin A. M., Bagautdinov F. Ya., Gayfullin R. R., Valitov A. V., Akhiyarov B. G. Influence of the nitrogen fertilizers forms on yield and biochemical composition of the spring rape seeds. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2019;(2(26)):101-109. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40481945>

9. Gushchina V. A., Agapkin N. D., Zheryakov E. V. Influence of pesticides on the yield and quality of spring rapeseed oilseeds. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*. 2008;(3(8)):5-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11530611>
10. Makoveeva N. N. Efficiency and quality of seeds summer rapca at use of means of protection. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2008;(4(46)):58-60. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9956950>
11. Vinogradov D. V., Balabko P. N., Zhulin A. V. The efficiency of chemical protection of summer rape in the Ryazan region. *Agro XXI*. 2010;(1-3):9-11. (In Russ.). URL: <https://www.agroxxi.ru/journal/20100103/20100103003.pdf>
12. Baykalova R. P., Bobrovskiy A. V., Kryuchkov A. A. The influence of mineral fertilizers and plant protection means on the structure elements and spring rapeseed productivity. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2020;(3(156)):3-10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42844535>
13. Kurbangaliev R. N., Bogatyreva A. S., Akmanaev E. D. The influence of sowing dates and rates on the yield capacity of spring rape varieties in the middle Preduralie. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2018;(1(21)):64-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664916>
14. Pugachev P. M. Rapeseed 2019: results, realities, prospects. *Kombikorma*. 2020;(3):2-4. (In Russ.).
15. Shpanev A. M. Experimental basis for remote sensing of phytosanitary condition of agroecosystems in the north-west of the Russian Federation. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019;16 (3):61-68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39147375>
16. Zubkov A. F. Guidelines for the collection of field biocenological information in order to assess the harmfulness of a complex of harmful organisms. Leningrad: VIZR, 1978. 18 p.
17. Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of potato yield. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2021: E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2021:01041. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46781169>
18. Ustarkhanova E. G., Penchukov V. M. Productivity of spring rapeseed on leached chernozem in conditions of unsteady moistening in Krasnodar region. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK*. 2007;(2(137)):104-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12415351>

Сведения об авторах

✉ Шпанев Александр Михайлович, доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории опытного дела, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>, e-mail: ashpanev@mail.ru

Смук Василий Васильевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4763-9082>

Information about the authors

✉ Alexandr M. Shpanev, DSc in Biology, chief researcher, the Laboratory of Experimental Work, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>, e-mail: ashpanev@mail.ru

Vasiliy V. Smuk, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Experimental Work, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4763-9082>

✉ – Для контактов / Corresponding author