
АГРОХИМИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ

**Влияние погодных условий, продуктивной влаги,
макроэлементов питания почвы и сорных растений на урожайность гороха**

Дмитрий Владимирович Митрофанов✉

Федеральный научный центр биологических систем
и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия;

✉ **Автор, ответственный за переписку:** dvm.80@mail.ru

Аннотация

Решение проблемы повышения урожайности гороха – одна из основных задач растениеводства в засушливых условиях Оренбургского Предуралья. Самый оптимальный путь решения – применение посевов гороха после внесения аммофоски под осеннюю вспашку в зернопаровых севооборотах и выявление влияния факторов на урожайность зерна. Внесение измельченной соломы и сидератов в почву предшественников гороха без применения минеральных удобрений не решает проблему. Проведение полевых опытов и статистического (регрессионного) анализа полученных результатов является своевременным и актуальным. Цель исследований заключается в установлении влияния погодных условий, продуктивной влаги и питательных веществ почвы, сорных растений и предшественников севооборотов на урожайность гороха по фонам питания в засушливых условиях Оренбургской области. На территории ОПХ им. Куйбышева Оренбургского района изучаются посевы гороха (2002–2022 гг.) в 6-польном и 2-польном севооборотах на многолетнем стационарном опытном участке, заложенном в 1990 г. Повторность двухфакторного опыта – 4-кратная на территории и 20-однократная во времени. Фактор А – фоны: удобрённый (аммофоска – $N_{40}P_{40}K_{40}$ кг/га) и неудо́ренный (контроль). Фактор В – варианты: 5 предшественников гороха (2 – твердой пшеницы, 3 – мягкой пшеницы) севооборотов. Получены усредненные данные: температура воздуха по май–август – $+16,2...+22,8^{\circ}C$; атмосферные осадки – 21,7–42,7 мм; число суховейных дней – 14–18; гидротермический коэффициент (ГТК) – 0,09–0,19; содержание продуктивной влаги после посева – 126,9–137,9 мм, перед уборкой – 32,2–51,2 мм, расход – 170,7–179,6 мм; $N-NO_3$ на удобрённом фоне питания – 84–101, 55–86, 9–30 мг и на неудо́ренном – 66–76, 45–74, 1–25 мг; P_2O_5 –58–63, 52–60, 0–7 мг и 43–46, 37–45, 0–7 мг; K_2O – 423–500, 367–454, 42–56 мг и 382–425, 329–404, 13–53 мг/кг; количество сорных растений в фазе всходов – 91–139 и 84–109 шт., в фазе созревания – 40–58 и 37–49 шт./м², масса сорняков – 35,8–47,1 и 33,8–42,2 г/м²; урожайность – 0,65–0,87 и 0,60–0,83 т/га; прибавка зерна гороха – 0,01–0,06 т. В результате наблюдений выявлено повышение урожайности гороха по фонам питания в 6-польном севообороте с посевом суданской травы в зависимости от влияния осадков июня, аммофоски и предшественника мягкой пшеницы. Недобор выпавших осадков в июне, израсходованная влага, нитратный азот и сорные растения значительно влияли на понижение выхода зерна гороха по твердой пшенице в 2-польном севообороте. В вариантах опыта установлено существенное воздействие засушливых погодных условий, расхода продуктивной влаги, дисбаланса питательных веществ в почве и засоренности посевов на снижение урожайности гороха в зернопаровых и сидеральных севооборотах. Влияние совокупности других факторов было незначительным.

Ключевые слова

Атмосферные осадки, температура воздуха, число суховейных дней, продуктивная влага, питательные вещества, сорные растения, урожайность, горох, предшественник, севооборот

Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания в соответствии с планом научно-исследовательской работы на 2024–2030 гг. Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (№ FNWZ-2022–0014).

Для цитирования

Митрофанов Д.В. Влияние погодных условий, продуктивной влаги, макроэлементов питания почвы и сорных растений на урожайность гороха // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 22–42.

AGROCHEMISTRY, SOIL SCIENCE, ECOLOGY

Effect of weather conditions, productive moisture, soil macronutrients and weeds on pea yield

Dmitry V. Mitrofanov✉

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉Corresponding author: dvm.80@mail.ru

Abstract

Solving the problem of increasing pea yield is one of the main tasks of crop production in the arid conditions of the Orenburg-Cis-Ural region. The most optimal solution is to use pea crops after applying ammophoska for fall plowing in grain-fallow crop rotations and to identify the effect of factors on grain yield. Adding chopped straw and green manure to the soil of pea predecessors without mineral fertilizers does not solve the problem. Conducting field experiments and statistical analysis (regression) of the results obtained is timely and relevant. The aim of the study is to determine the effect of weather conditions, soil productive moisture and nutrients, weeds and precursors of crop rotation on pea yield by nutritional backgrounds in the arid conditions of the Orenburg Region. On the territory of the experimental production farm named after Kuybyshev, Orenburg Region, pea crops (2002–2022) are being studied in 6-field and 2-field crop rotations on a long-term stationary experimental plot established in 1990. The repetition of the two-factor experiment is fourfold in the area and twentyfold in time. Factor A is backgrounds: fertilized (ammophoska – $N_{40}P_{40}K_{40}$ kg/ha) and unfertilized (control). Factor B is options: five pea predecessors (two durum and three soft wheat) of crop rotations. Average data were obtained: air temperature for May–August is $+16.2...+22.8^{\circ}C$; precipitation – 21.7–42.7 mm; number of dry days – 14–18; hydrothermal coefficient (HTC) – 0.09–0.19; productive moisture content after sowing – 126.9–137.9 mm, before harvesting – 32.2–51.2 mm, consumption – 170.7–179.6 mm; $N-NO_3$ on a fertilized nutritional background – 84–101, 55–86, 9–30 mg and on an unfertilized background – 66–76, 45–74, 1–25 mg; P_2O_5 – 58–63, 52–60, 0–7 mg and 43–46, 37–45, 0–7 mg; K_2O – 423–500, 367–454, 42–56 mg and 382–425, 329–404, 13–53 mg/kg; the number of weeds in the germination phase – 91–139 and 84–109 pcs., in the ripening phase – 40–58 and 37–49 pcs./m²; the mass of weeds – 35.8–47.1 and 33.8–42, 2 g/m²; yield – 0.65–0.87 and 0.60–0.83 t/ha; increase in pea grain – 0.01–0.06 t. The observations revealed an increase in pea yield by nutritional backgrounds in a six-field crop rotation with summer sowing of Sudan grass, depending on the effect of June precipitation, ammophoska and the precursor of soft wheat. Lack of precipitation in June, spent moisture, nitrate nitrogen and weeds significantly reduced pea yield after durum wheat in a two-field crop rotation. The experimental variants revealed a significant effect of dry weather conditions, use of productive moisture, soil nutrient imbalance and weed infestation on pea yield reduction in grain-fallow and green manure rotations. The effect of other factors combined was insignificant.

Keywords

Precipitation, air temperature, number of dry days, productive moisture, nutrients, weeds, yield, peas, predecessor, crop rotation

Acknowledgments

The research was carried out within the framework of the state assignment of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences in accordance with the research plan for 2024–2030 (No. FNWZ-2022–0014).

For citation

Mitrofanov D.V. Effect of weather conditions, productive moisture, soil macronutrients and weeds on pea yield. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 1. P. 22–42.

Введение Introduction

Повышение плодородия почвы происходит в связи с увеличением доли бобовых культур в структуре посевных площадей севооборотов. Невозможно применение агротехнических приемов без соблюдения правильного чередования культур в севооборотах, которые направлены на повышение урожайности [1, 2]. Урожайность гороха зависит от сроков посева и погодных условий. В сроки посева гороха (6–14 мая) и в засушливом вегетационном периоде более эффективно используется продуктивная влага в почве. При посеве в эти сроки отмечается наибольший выход зерна гороха. В более ранние сроки посева гороха наблюдается снижение выхода продукции на 1 мм использованной влаги [3]. В других почвенно-климатических условиях проводятся научные работы по разнообразному влиянию агротехнологии на формирование запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы и урожайности гороха [4]. После интенсивных приемов обработки почвы содержание влаги уменьшается на 5–12% в 0–30 см и на 11–39% в 0–10 см слоях горизонта перед посевом гороха. После вспашки весенние запасы влаги в почве перед посевом снижаются на 21–33%, в фазу бутонизации гороха – на 27–34%. Содержание продуктивной влаги уменьшается в пахотном слое почвы до минимальных значений (0–10 мм/га), что приводит к понижению урожайности зерна. В условиях достаточного увлажнения на вариантах со вспашкой получена максимальная урожайность гороха – 5,54 т/га [5]. В сложившихся погодных и почвенных условиях получена урожайность гороха 3,79 т/га при технологии прямого посева по вспашке в зависимости от содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы 167,2 мм [6]. В раннем сроке посева формируется наибольшая урожайность гороха (2,18–3,72 т/га) на фоне по вспашке с применением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{80}K_{80}$ кг/га действующего вещества [7, 8]. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{40}K_{40}$ повышает урожайность гороха. Низкие и высокие нормы внесения минеральных удобрений под посевы гороха существенно снижают урожайность зерна [9].

В засушливых условиях Оренбургского Предуралья внесение минеральных удобрений под основную обработку почвы (вспашка) накапливает запасы нитратного азота и подвижного фосфора в почве до 19,0 мг/кг, что приводит к увеличению зерна гороха на 0,05 т/га при урожайности 1,03 т/га [10]. В засушливой степи Южного Урала влияние предшественника (мягкая пшеница) и использованной продуктивной влаги с учетом атмосферных осадков в почве 106,5 мм способствует повышению урожайности гороха в севообороте с занятым паром до 0,86 т/га [11]. Во влажных

условиях Среднего Урала гидротермический коэффициент июня положительно влияет на урожайность гороха, что обеспечивает прибавку зерна от минеральных удобрений на 0,68 т/га [12].

Влияние минеральных удобрений на засоренность посевов гороха является многообразным в зависимости от почвенно-климатических условий. Удобрения улучшают рост и развитие не только гороха, но и сорных растений. Наибольшее количество сорняков снижает урожайность гороха. Обработка почвы уменьшает засоренность посевов гороха. Вспашка с применением минеральных удобрений снижает в течение вегетационного периода гороха количество сорных растений в 1,9–2,0 раз, воздушно-сухую массу – в 1,2–1,8 раз, перед уборкой – в общем 1,3–2,5 раз [13]. В период появления всходов горох за счет своих биологических особенностей слабо противостоит сорнякам. Поэтому главной задачей в агротехнологии возделывания является определение в начале вегетации количества сорняков в посевах гороха. При повышении порога вредоносности сорняков в посевах гороха применяли гербициды. Применение различных гербицидов снижало массу сорняков в среднем на 39,3–54,6%. В результате обработки гербицидом (Фюзилад Форте – 1,0 л/га) получена прибавка зерна гороха на 0,37 т/га. Применение боронования по всходам и гербицида «Для сои» с нормой 0,6 л/га обеспечивает снижение засоренности посевов и повышение урожайности гороха [14, 15].

Другие агрометеорологические и почвенные условия оказывают существенное воздействие на урожайность гороха. Повышение урожайности гороха зависит от наилучшего распределения продуктивной влаги в почве за период вегетации, что значительно влияет на рост и развитие культуры [16]. В сложившихся погодных условиях юго-центральной части Польши при традиционной системе обработки почвы формируется повышенная урожайность гороха (5,19 т/га) в сравнении со вспашкой – 2,89 т/га [17]. В засушливых условиях Индии результаты эксперимента показывают положительное влияние новых сортов гороха (Arka Aroorva и Kashi Shakti) на увеличение урожайности – 13,4–15,7 т/га [18].

Наибольшее содержание влаги в почве способствует повышению урожайности зернобобовой культуры. Ограниченный режим увлажнения или условия с дефицитом воды (засуха), как правило, приводят к снижению урожайности зерна гороха и неэффективности удобрений. Во влажных условиях внесение минеральных удобрений в почву оказывает существенное влияние на формирование урожайности гороха. В результате в 2 раза возрастает прибавка зерна гороха на территории опытного участка [19, 20]. Недостаточно изучались вопросы по повышению продуктивности гороха в почвенно-климатических условиях России. В связи с этим для решения проблемы наибольший интерес представляло изучение агрометеорологических условий, влажности и макроэлементов питания почвы, засоренности посевов и предшественников в зернопаровых и зерновых севооборотах.

Таким образом, впервые для условий Оренбургского Предуралья были проведены исследования по выявлению воздействия атмосферных осадков, температуры воздуха, суховея, гидротермического коэффициента, продуктивной влаги, подвижных форм азота, фосфора и обменного калия, сорняков и предшествующих культур на урожайность гороха в севооборотах на фоне с минеральными удобрениями и без их применения.

Цель исследований: установить влияние погодных условий, продуктивной влаги и питательных веществ почвы, сорных растений и предшественников севооборотов на урожайность гороха по фонам питания в засушливых условиях Оренбургской области.

Методика исследований

Research method

Для достижения поставленной цели были обозначены следующие задачи: определение температуры воздуха, атмосферных осадков, числа суховейных дней, гидротермического коэффициента в течение вегетационного периода; установление содержания продуктивной влаги и питательных веществ в почве, наблюдение за засоренностью посевов в фазе всходов и созревания; нахождение наилучшего фона питания и предшественника севооборота по отношению к урожайности; получение прибавки зерна в зависимости от минеральных удобрений и предшественников севооборотов; выявление взаимосвязи изучаемых факторов с урожайностью гороха.

Исследования проводились в 2002–2022 гг. на длительном полевом стационаре по севооборотам, заложенном в 1990 г. на территории ОПХ им. Куйбышева Оренбургской области. Многолетний экспериментальный участок находился возле с. Нежинка Оренбургского района центральной зоны области по координатам (51°46'30.45»N, 55°18'23.57»E). Полевой опыт размещался на пологом склоне (0,5–1,1°) с направлением на юго-восток к р. Урал.

Почва опытного поля – чернозем южный карбонатный малогумусный средне-мощный тяжелосуглинистый. В верхнем слое почвы (0–30 см) гумуса содержалось 3,2–4,0%, азота – 0,20–0,31%, фосфора – 0,14–0,22%, нитратов – 87–181 мг, подвижного фосфора – 15–25 мг, обменного калия – 300–380 мг/кг почвы, рН почвенного раствора – 7,0–8,1. Гидролитическая кислотность почвы составила 15–23 мг/экв., сумма поглощенных оснований – 391 мг/экв. на 1 кг сухой почвы. Плотность увеличивается в верхнем слое почвы (0–30 см) до 1140 кг, в метровом слое (0–100 см) – до 1390 кг/м³. Влажность устойчивого завядания, максимальная гигроскопичность и влагоемкость снижаются при углублении в почву. Наименьшая полевая влагоемкость составила в метровом слое почвы 297,0 мм (или 27,1%), в 1,5-метровом слое – 389,0 м (или 25,4%) соответственно.

В исследованиях применялся полевой метод Б.А. Доспехова. Горох выращивался в зернопаровых и зерновых севооборотах с длинной (6 лет) и короткой (2 года) ротациями: пар (черный) – рожь (озимая) – пшеница (твердая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой); пар (черный) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой); пар (занятый летним посевом суданской травы) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой); пар (сидеральный – овес и горох) – пшеница (твердая) – пшеница (мягкая) – горох (посевной) – пшеница (мягкая) – ячмень (яровой) и горох (посевной) – пшеница (твердая).

Полевой опыт размещался по четырем повторениям на участке и являлся 20-однократным во времени. Схема опыта двухфакторная: 2А х 5В, где А –удобренный, неудобренный фоны; В – варианты: 5 предшественников гороха (2 – твердой пшеницы, 3 – мягкой пшеницы). Горох высевался по систематическому размещению вариантов опыта: I. Горох в последствии твердой пшеницы и черного пара. II. Горох в последствии мягкой пшеницы и черного пара. III. Горох в последствии мягкой пшеницы и занятого пара. IV. Горох в последствии мягкой пшеницы и сидерального пара. V. Горох в последствии твердой пшеницы.

Эксперимент проводился на уровнях по удобренному (интенсивный) и неудобренному (контроль) фонам питания почвы. Длина интенсивного фона питания составила 30 м, неудобренного фона – 60 м. Размер делянки составил 3,6 ´ 90 м. Площадь удобренного фона питания составила 108, неудобренного – 216, делянки – 324 м². Общая площадь посева гороха составила 6480 м², или 0,64 га. На одной части

делянки под осеннюю вспашку (BELARUS-1523.3 и FINIST ПЛН-4–35) разбрасывалась аммофоска (РУМ-1000) в соответствии с нормой (N – 40; P – 40; K – 40 кг/га), рекомендуемой агрохимиками для данной зоны. На другой части делянки не вносились минеральные удобрения. На посевах гороха против сорняков применяли гербицид Пульсар с нормой расхода 0,70–0,80 л/га.

Ранней весной проводилось боронование (БЗСС-1) пашни в 2 следа, затем выполнялась предпосевная культивация (КПС-4У) почвы. Посев (8–15 мая) гороха (сорта Красноуфимский 93, Чишминский 95, 229) проводился сеялкой (VITA СЗП-3,6А) с нормативным показателем 230 кг/га, или 1,2 млн шт. семян на 1 га. Посевы гороха на делянках опыта прикатывались кольчато-шпоровыми катками (ЗККШ-6). Во второй и третьей декадах августа проводилась уборка гороха на зерно селекционным комбайном (Samro Terrion SR2010) с измельчением ботвы. Учет урожайности гороха в севооборотах производился на питательных (удобренный – 60 м², неудобренный – 120 м²) фонах почвы. При определении урожайности учитывались влажность (15–18%) и чистота (100%) зерна гороха.

В работе проводилась оценка агрометеорологических условий (атмосферные осадки, температура воздуха, число суховейных дней) по сведениям Оренбургского центрапогидрометеорологииимониторингуокружающейсреды(ЦГМС)(<https://www.meteorf.gov.ru>). В расчете гидротермического коэффициента увлажнения Г.Т. Селянинова (ГТК) применялись данные выпавших осадков и температуры воздуха в период вегетации, и в результате он характеризовал уровень влагообеспеченности территории.

Изучаемая климатическая зона – резко континентальная. За годы проведения исследований в вегетационном периоде (май–август) выпавшие осадки составили 128,3 мм, температура воздуха – 20,4°C, число суховейных дней – 63,0. Атмосферные осадки составили 82,8% от нормативного показателя (155,0 мм), что снижалось на 26,7 мм. Атмосферная температура составила +19,1°C, число суховейных дней – 56, что оказалось выше нормы соответственно на 1,3°C и 7 дней. Гидротермический коэффициент увлажнения составил 0,56, или 84,8%, от среднеемноголетнего показателя (0,66), что ниже на 0,10, охарактеризовав вегетационный период как очень засушливый.

В период после посева и перед уборкой отбирались почвенные образцы для установления содержания подвижных форм азота, фосфора, обменного калия и влажности в слое 0–30 и 0–100 см. В лабораторных условиях определялось содержание продуктивной влаги в почве термостатно-весовым методом С.А. Воробьева, содержание нитратного азота – ионометрическим методом, подвижного фосфора и обменного калия – методом Мачигина в центре коллективного пользования (<http://цкп-бст.рф>).

Сорняки на опытном поле учитывались в фазе всходов и созревания гороха. В посевах культуры встречались сорные растения: просо куриное, щирица запрокинутая и жминдовидная (однолетники) и молокан татарский, осот розовый и желтый (многолетники). На двух повторениях (I и III) опыта по питательным (удобренный и неудобренный) фонам почвы с помощью прямоугольных рамок в четырех точках с каждой делянки просчитывались на площади 0,25 м² однолетние и многолетние сорняки. Масса сорных растений определялась на лабораторных электронных весах HIGH-LAND («ADAM», Великобритания). Учет засоренности посевов в фазе всходов и созревания гороха производился количественным и количественно-весовым методами.

Статистический анализ выполнялся с помощью метода множественной регрессии в программе StatSoft Statistica 12.0. Наименьшая существенная разность (НСР₀₅) рассчитывалась путем применения дисперсионного анализа. В статистическую обработку входили вычисление коэффициента регрессии (b), критерий Стьюдента (t), корреляции (r), детерминации (r²), стандартной ошибки оценки (so) и уровня значимости (p).

Результаты и их обсуждение Results and discussion

Наблюдения за погодными условиями на экспериментальном опытном участке показывали значительные изменения в вегетационном периоде гороха. На основании полученных сведений от Оренбургского центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды установлено, что в результате обильных выпадений осадков (июль) в количестве 42,7 мм при среднемноголетней норме 41,0 мм наблюдалось цветение и созревание гороха (табл. 1).

По остальным месяцам периода вегетации (май, июнь и август) выпали осадки в количестве 34,6; 29,3 и 21,7 мм, что меньше нормы на 6,4; 9,7 и 12,3 мм. Такие условия повлияли на понижение урожайности гороха. Нехватка атмосферной влаги для нормального роста и развития в период вегетации гороха объяснялась проявлением засушливых условий с выраженным высоким температурным режимом. Повышенная температура воздуха составила +22,8°C в июле, +22,0°C в августе, что выше нормы на 0,9 и 2,0°C соответственно. Высокая температура воздуха приводила к быстрому испарению атмосферной влаги. Оптимальная температура воздуха составила +16,2°C в мае, +20,7°C в июне, при этом превышая среднемноголетний показатель на 1,2 и 1,0°C соответственно.

Таблица 1

Агрометеорологические условия вегетационного периода гороха на территории опытного участка (2002–2022 гг.) (расчеты по данным [1])

Table 1

Agrometeorological conditions of the growing season of peas on the territory of the experimental site (2002–2022) [calculations based on reference 1]

Показатели	Месяцы вегетационного периода гороха			
	май	июнь	июль	август
Среднесуточная температура воздуха, °C	$\frac{16,2}{15,0}$	$\frac{20,7}{19,7}$	$\frac{22,8}{21,9}$	$\frac{22,0}{20,0}$
НСР ₀₅	1,15	1,23	0,93	1,20
Сумма осадков, мм	$\frac{34,6}{41,0}$	$\frac{29,3}{39,0}$	$\frac{42,7}{41,0}$	$\frac{21,7}{34,0}$
НСР ₀₅	12,0	7,9	14,5	12,2
Число суховейных дней	$\frac{16,0}{14,0}$	$\frac{14,0}{13,0}$	$\frac{15,0}{14,0}$	$\frac{18,0}{15,0}$
НСР ₀₅	3,2	4,1	4,0	3,4
Гидротермический коэффициент	$\frac{0,19}{0,21}$	$\frac{0,12}{0,16}$	$\frac{0,16}{0,18}$	$\frac{0,09}{0,11}$

Примечание. Над чертой – данные по Оренбургскому центру гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; под чертой – среднемноголетние данные.

Неблагоприятные условия для гороха в жаркий период года усугубили холодная засуха и суховеи. Наибольшее число суховейных дней с относительной влажностью воздуха ниже 30% наблюдалось в августе и составило 18,0 выше нормы (15,0) на 3,0, что приводило к быстрому полеганию гороха и слабому формированию зерна. Число суховейных дней по остальным месяцам вегетационного периода (май, июнь, июль) составило 16,0; 14,0; 15,0, что выше среднемноголетней нормы. По сумме осадков и среднесуточной температуры воздуха рассчитывался гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова. Наименьший коэффициент отмечался в августе и составил 0,09, что ниже нормы на 0,02, указывая на самый засушливый месяц. Гидротермический коэффициент в мае составил 0,19, в июне – 0,12, в июле – 0,16, что ниже нормы на 0,02; 0,04; 0,02, показывая сильную засушливость по месяцам. Засушливый период вегетации приводил к наименьшей влагообеспеченности, снижению содержания подвижных форм азота, фосфора и обменного калия в почве и урожайности гороха в севооборотах.

После посева и перед уборкой гороха в севооборотах наблюдалось содержание макроэлементов питания в почвенном горизонте 0–30 см на удобренном фоне в пределах 52–500 мг, на неудобренном фоне – 37–425 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2

Запасы макроэлементов питания в зависимости от варианта опыта и фона питания, мг/кг почвы (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [2])

Table 2

Reserves of macronutrients depending on the experimental variant and nutritional background, mg/kg of soil (2002–2022)
[calculations based on reference 2]

Вариант опыта		Период определения макроэлементов питания в горизонте 0–30 см								
		после посева			перед уборкой			расход		
		N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
I		$\frac{89}{66}$	$\frac{60}{43}$	$\frac{500}{425}$	$\frac{73}{61}$	$\frac{60}{42}$	$\frac{454}{401}$	$\frac{16}{5}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{46}{24}$
II		$\frac{85}{67}$	$\frac{63}{46}$	$\frac{490}{421}$	$\frac{66}{56}$	$\frac{56}{41}$	$\frac{444}{386}$	$\frac{19}{11}$	$\frac{7}{5}$	$\frac{46}{35}$
III		$\frac{84}{67}$	$\frac{63}{45}$	$\frac{490}{417}$	$\frac{75}{66}$	$\frac{59}{45}$	$\frac{448}{404}$	$\frac{9}{1}$	$\frac{4}{0}$	$\frac{42}{13}$
IV		$\frac{85}{70}$	$\frac{58}{44}$	$\frac{466}{413}$	$\frac{55}{45}$	$\frac{52}{37}$	$\frac{419}{387}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{6}{7}$	$\frac{47}{26}$
V		$\frac{101}{76}$	$\frac{62}{43}$	$\frac{423}{382}$	$\frac{86}{74}$	$\frac{58}{40}$	$\frac{367}{329}$	$\frac{15}{2}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{56}{53}$
HCP ₀₅	A	4,2	1,4	8,0	4,8	1,7	7,7	6,2	2,1	8,9
	B	6,7	2,3	12,6	7,6	2,7	12,2	9,8	3,3	14,0

Примечание. Здесь и далее: над чертой – удобренный (интенсивный) фон питания; под чертой – неудобренный (контроль); HCP₀₅ A – минеральные удобрения (аммофоска), HCP₀₅ B – предшественник (твердая и мягкая пшеница).

Наибольшие запасы нитратного азота (N-NO_3) в почве отмечались после посева и перед уборкой гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте (V вариант опыта) и составили 101,86 мг, что превосходило контроль на 25,12 мг/кг. В результате обогащения биологическим азотом с помощью клубеньковых бактерий, находящихся в корнях гороха, и после процесса нитрификации происходило накопление питательного вещества в почве. Возрастание содержания азота в почве происходило ввиду длительного возделывания гороха в 2-польном севообороте. Наименьшее количество азота в почве наблюдалось перед уборкой гороха по твердой и мягкой пшенице в последствии паров (I, II, III, IV варианты опыта) и на фоне с удобрениями составило 55–75 мг, что превосходило контроль на 9–12 мг/кг. Расход азота происходил за счет миграции в нижележащие слои почвы и потребления его горохом и сорняками. Расход азота в почве на питательных фонах варьировал от 1 до 30 мг/кг. Самый наибольший расход азота в почве отмечался под посевом гороха (IV вариант опыта) в сидеральном севообороте.

В основном снижение содержания питательного вещества в почве происходило за счет активного использования его предшествующими полевыми культурами при многолетнем возделывании в 6-польных севооборотах. Количество подвижного фосфора (P_2O_5) в течение периода определения гороха находилось в диапазоне от 37 до 63 мг/кг. Наибольшее содержание питательного вещества в почве после внесения аммофоски отмечалось после посева во втором варианте опыта 63 (выше контроля на 17), в третьем – 63 (на 18), в пятом – 62 (на 19) мг/кг. Максимальное содержание фосфора в пахотном слое почвы обозначалось перед уборкой гороха в первом варианте опыта – 60 мг, что превосходило контроль на 18 мг/кг. Наименьшее количество фосфора в почве содержалось перед уборкой гороха в четвертом варианте эксперимента 52 (выше контроля на 15) мг/кг. Израсходованный фосфор в почве за период вегетации гороха находился на определенном уровне – от 0 до 7 мг/кг. Наибольший расход питательного вещества в почве возникал (II, IV вариант опыта) в севооборотах с длинной ротацией. Наименьшим расход фосфора в почве становился ввиду биологических особенностей гороха.

Возрастание содержания обменного калия (K_2O) в почве прослеживалось в весенний период после посева гороха в последствии твердой пшеницы (I вариант опыта) в севообороте с черным паром, на фоне с удобрениями составив 500 мг, на неудобренном фоне – 425 мг/кг. Такое положение объяснялось накоплением черным паром запасов калия в почве. Снижение количество калия фиксировалось в пятом варианте опыта и составило 423 и 367 мг с положительным отклонением от контроля в 41 и 38 мг/кг. Основной причиной снижения содержания калия являлось истощение почвы сорной растительностью, горохом и твердой пшеницей при возделывании в севообороте с короткой ротацией. В результате последствий других паров в севооборотах отмечалось содержание калия в почве на интенсивном фоне питания в определенном значении – от 419 до 490 мг, на контроле – 386–421 мг/кг. Расход калия за вегетационный период гороха находился в диапазоне от 13 до 56 мг/кг. Максимальный расход калия наблюдался под посевом на питательных фонах (V вариант опыта) в зерновом севообороте. Наибольший расход калия осуществлялся за счет использования его на рост, развитие сорняков и культурных растений. Высокие запасы калия в почве объяснялись агрохимическими свойствами чернозема. Наилучшая значимая фактическая разность содержания калия по сравнению с контролем отмечалась после посева гороха по твердой пшенице в зернопаровом севообороте (I вариант опыта), составив 75 мг (HCP_{05} по удобрению = 8,0, по предшественнику = 12,6). Наибольшие запасы калия в почве на интенсивном фоне питания объяснялись применением аммофоски под осеннюю вспашку перед весенним посевом гороха в севооборотах с длинной и короткой ротациями.

В вариантах эксперимента наблюдалось изменение содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы и выхода зерна гороха в севооборотах. Наименьшие запасы

влаги отмечались в пятом варианте опыта и составили после посева 126,9 мм, перед уборкой – 32,2 мм (табл. 3).

Главной причиной понижения запасов влаги являлось влагоистощение почвы сорными растениями и зерновыми культурами при возделывании их в 2-польном севообороте. Практически одинаковое количество весенней влаги в почве прослеживалось в вариантах посева гороха 6-польных севооборотов, составив от 137,0 до 137,9 мм. Снижение влагозапасов почвы происходило перед уборкой гороха в зернопаровых севооборотах с содержанием от 44,1 до 51,2 мм. Максимальный расход влаги с учетом среднесуточной температурой воздуха (20,4°C) и атмосферных осадков (128,3 мм) за вегетационный период гороха наблюдался в зерновом севообороте (V вариант опыта) и составил 179,6 мм. Наименьший расход влаги отмечался по остальным вариантам эксперимента, составив 170,7–178,6 мм. Расход влаги происходил за счет испарения с поверхности почвы и использования ее на рост, развитие сорняков и гороха, особенно при возделывании в севообороте с короткой ротацией.

В результате исследований выявлено, что первое место по урожайности занимал посев гороха по мягкой пшенице после занятого пара (III вариант опыта) в зернопаровом севообороте. В связи с этим максимальная урожайность зерна на фоне с удобрениями составила 0,87 т, на неудобренном фоне – 0,83 т/га. Наименьшая урожайность гороха отмечалась в зерновом севообороте (V вариант опыта), на интенсивном фоне питания составив 0,65 т, на контроле – 0,60 т/га. По остальным вариантам опыта (I, II, IV) прослеживалась практически одинаковая урожайность на интенсивном фоне питания (от 0,76 до 0,79 т/га) и на неудобренном фоне (0,70–0,71 т/га).

В вариантах опыта применение аммофоски под осеннюю вспашку незначительно повлияло на урожайность гороха. В первом и четвертом вариантах посева гороха наблюдалась одинаковая максимальная прибавка зерна от минеральных удобрений – на 0,06 т. Во втором варианте эксперимента отмечалась минимальная прибавка зерна – на 0,01 т. В третьем и пятом вариантах опыта отслеживалась прибавка зерна на 0,04 и 0,05 т соответственно.

Таблица 3

Запасы продуктивной влаги в почве и урожайность гороха в зависимости от варианта опыта и фона питания (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [3])

Table 3

Reserves of productive moisture in the soil and pea yield depending on the experimental variant and nutritional background (2002–2022)
[calculations based on reference 3]

Вариант опыта	Запасы влаги в метровом слое почвы, мм			Урожайность, т/га		Прибавка зерна гороха, т
	после посева	перед уборкой	расход	удобренный фон	контроль	
I	137,5	47,0	175,4	0,77	0,71	0,06
II	137,0	51,2	170,7	0,79	0,78	0,01
III	137,8	44,1	178,6	0,87	0,83	0,04
IV	137,9	46,7	176,1	0,76	0,70	0,06
V	126,9	32,2	179,6	0,65	0,60	0,05
НСР ₀₅	9,5	14,3	6,9	0,16	0,17	0,04

Основным фактором, влияющим на прибавку зерна гороха, являлись минеральные удобрения с содержанием азота, фосфора и калия. Наименьшая прибавка зерна по всем предшественникам в севооборотах объяснялась неэффективностью удобрений. В засушливых условиях нитратный азот мало использовался горохом, и внесение минеральных удобрений приводило к накоплению содержания его в почве. В течение засушливого вегетационного периода горох обогащал почву биологический азотом. В результате применения аммофоски проявлялся дисбаланс азота в почве и происходило понижение урожайности гороха.

В результате исследований была выявлена зависимость урожайности гороха от агрометеорологических условий. В вариантах опыта результаты метода множественной регрессии показывали отрицательное влияние основного погодного фактора «Суховеи июня». Наиболее неблагоприятное воздействие на урожайность зерна отмечалось в третьем варианте эксперимента на удобренном фоне питания, составив 33,85% при уровне значимости 0,005 (табл. 4). Максимальное негативное влияние наблюдалось в пятом варианте опыта на контроле, составив 32,40% ($p = 0,007$). В вариантах опыта прослеживалось отрицательное влияние погодного фактора «Суховеи июля» на урожайность гороха, составив от 20,80 до 41,25% при оптимальном критерии уровня значимости ($p \leq 0,05$). Особенно повлияли суховеи в мае на урожайность гороха (V вариант опыта) на интенсивном фоне питания, и доля их составила 21,26% с уровнем значимости 0,035. Незначительное влияние оказывали суховейные дни мая в севообороте без применения минеральных удобрений – на 11,41% с $r = 0,34$ при $p = 0,134$. Неблагоприятное влияние на выход зерна гороха аналогично оказывала среднесуточная температура воздуха июня в вариантах I, II, III, V эксперимента. Такое воздействие находилось на двух фонах питания в пределах от 22,53 до 38,70% с приемлемым критерием уровня значимости.

Таблица 4

Влияние погодных условий на урожайность гороха (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [1, 3])

Table 4

Effect of weather conditions on pea yield (2002–2022)
[calculations based on references 1 and 3]

Вариант опыта	Погодные факторы	Показатели регрессионного анализа						Доля влияния, %
		b^1	so^2	t^3	p^4	r^5	$(r^2)^6$	
I	Температура июня	$\frac{-0,12}{-0,11}$	$\frac{0,45}{0,42}$	$\frac{-2,96}{-2,85}$	$\frac{0,008}{0,010}$	$\frac{0,56}{0,55}$	$\frac{0,31}{0,29}$	$\frac{31,56}{29,95}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,44}{0,44}$	$\frac{3,16}{2,37}$	$\frac{0,005}{0,028}$	$\frac{0,59}{0,48}$	$\frac{0,34}{0,22}$	$\frac{34,50}{22,89}$
	Суховеи июня	$\frac{-0,03}{-0,03}$	$\frac{0,45}{0,43}$	$\frac{-2,82}{-2,68}$	$\frac{0,011}{0,014}$	$\frac{0,54}{0,52}$	$\frac{0,29}{0,27}$	$\frac{29,47}{27,38}$
	Суховеи июля	-0,03	0,48	-2,30	0,033	0,47	0,21	21,74
	ГТК за май-август	0,91	0,42	2,18	0,042	0,45	0,20	20,03

Вариант опыта	Погодные факторы	Показатели регрессионного анализа						Доля влияния, %
		b^1	so^2	t^3	p^4	r^5	$(r^2)^6$	
II	Температура июня	$\frac{-0,12}{-0,13}$	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{-2,73}{-2,85}$	$\frac{0,013}{0,010}$	$\frac{0,53}{0,55}$	$\frac{0,28}{0,29}$	$\frac{28,26}{29,90}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,49}{0,51}$	$\frac{2,95}{2,75}$	$\frac{0,008}{0,013}$	$\frac{0,56}{0,53}$	$\frac{0,31}{0,28}$	$\frac{31,43}{28,53}$
	Суховеи июня	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,49}{0,50}$	$\frac{-2,96}{-2,81}$	$\frac{0,008}{0,011}$	$\frac{0,56}{0,54}$	$\frac{0,31}{0,29}$	$\frac{31,54}{29,41}$
	Суховеи июля	$\frac{-0,04}{-0,04}$	$\frac{0,46}{0,49}$	$\frac{-3,65}{-2,97}$	$\frac{0,001}{0,007}$	$\frac{0,64}{0,56}$	$\frac{0,41}{0,31}$	$\frac{41,25}{31,78}$
	ГТК за май-август	1,06	0,45	2,35	0,030	0,47	0,22	22,54
III	Температура июня	$\frac{-0,12}{-0,11}$	$\frac{0,55}{0,55}$	$\frac{-2,35}{-2,35}$	$\frac{0,029}{0,030}$	$\frac{0,47}{0,47}$	$\frac{0,22}{0,22}$	$\frac{22,54}{22,53}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{0,53}{0,50}$	$\frac{2,69}{2,35}$	$\frac{0,014}{0,029}$	$\frac{0,52}{0,47}$	$\frac{0,27}{0,22}$	$\frac{27,52}{22,53}$
	Суховеи июня	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,51}{0,48}$	$\frac{-3,11}{-2,74}$	$\frac{0,005}{0,013}$	$\frac{0,58}{0,53}$	$\frac{0,33}{0,28}$	$\frac{33,85}{28,32}$
	Суховеи июля	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,52}{0,48}$	$\frac{-2,95}{-2,74}$	$\frac{0,008}{0,013}$	$\frac{0,56}{0,53}$	$\frac{0,31}{0,28}$	$\frac{31,39}{28,32}$
IV	Суховеи июня	$\frac{-0,03}{-0,03}$	$\frac{0,52}{0,44}$	$\frac{-2,25}{-2,57}$	$\frac{0,036}{0,018}$	$\frac{0,46}{0,51}$	$\frac{0,21}{0,25}$	$\frac{21,06}{25,79}$
	Суховеи июля	-0,03	0,53	-2,23	0,037	0,45	0,20	20,80
V	Температура июня	$\frac{-0,11}{-0,10}$	$\frac{0,44}{0,34}$	$\frac{-2,90}{-3,46}$	$\frac{0,009}{0,002}$	$\frac{0,55}{0,62}$	$\frac{0,30}{0,38}$	$\frac{30,71}{38,70}$
	Осадки июня	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{0,38}{0,30}$	$\frac{4,13}{4,80}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,69}{0,74}$	$\frac{0,47}{0,54}$	$\frac{47,32}{54,79}$
	Осадки июля	0,01	0,46	2,39	0,027	0,48	0,23	23,13
	Суховеи мая	-0,04	0,47	-2,26	0,035	0,46	0,21	21,26
	Суховеи июня	$\frac{-0,03}{-0,02}$	$\frac{0,46}{0,36}$	$\frac{-2,35}{-3,02}$	$\frac{0,029}{0,007}$	$\frac{0,47}{0,57}$	$\frac{0,22}{0,32}$	$\frac{22,61}{32,40}$
	Суховеи июля	$\frac{-0,04}{-0,03}$	$\frac{0,42}{0,36}$	$\frac{-3,31}{-3,03}$	$\frac{0,004}{0,006}$	$\frac{0,60}{0,57}$	$\frac{0,36}{0,32}$	$\frac{36,60}{32,61}$
	ГТК за май-август	$\frac{1,31}{0,85}$	$\frac{0,34}{0,33}$	$\frac{3,83}{2,59}$	$\frac{0,001}{0,018}$	$\frac{0,66}{0,51}$	$\frac{0,43}{0,26}$	$\frac{43,57}{26,07}$

Примечание. Здесь и далее: b^1 – коэффициент регрессии; so^2 – стандартная ошибка; t^3 – критерий Стьюдента; p^4 – уровень значимости регрессии ($p \leq 0,05$); r^5 – коэффициент корреляции; $(r^2)^6$ – коэффициент детерминации.

При выполнении анализа вариантов опыта были установлены отрицательные показатели коэффициента регрессии (от $-0,02$ до $-0,13$) и критерии Стьюдента (от $-2,23$ до $-3,65$) при стандартной ошибке $0,34-0,55$. В результате неблагоприятного влияния суховея и температуры воздуха при проведении анализа был выявлен коэффициент корреляции и детерминации в пределах $0,45...0,64$ и $-0,20...-0,41$. Положительное влияние на урожайность гороха в севооборотах оказывал погодный фактор «Осадки». При проведении анализа наблюдалась тенденция возрастания процента влияния осадков июня в пятом варианте опыта на интенсивном и неудобренном фоне питания, составив $47,32$ и $54,79\%$ с уровнем значимости $0,001$. В остальных вариантах посева гороха наблюдалось благоприятное влияние выпавших осадков в июне на урожайность зерна, и доля их составила на питательных фонах от $22,53$ до $34,50\%$ при нормативном уровне значимости. Влияли выпавшие осадки в июле на урожайность гороха в зерновом севообороте на фоне с минеральными удобрениями (V вариант опыта), и доля их составила $23,13\%$ с критерием уровня значимости $0,027$.

В первом и во втором вариантах опыта гидротермический коэффициент положительно воздействовал на урожайность на интенсивном фоне питания и составил $20,03$ и $22,54\%$ с показателем корреляции $0,45-0,47$ и показателем детерминации $0,20-0,22$ при уровне значимости $0,042-0,030$. Наибольшее влияние оказывал гидротермический коэффициент на выход зерна гороха в пятом варианте опыта на интенсивном фоне питания, составив $43,57\%$ с уровнем значимости $0,001$, на контроле – $26,07\%$ с критерием $0,018$. В результате анализа установлено, что положительные показатели метода множественной регрессии показывали благоприятное влияние осадков июня, июля и ГТК на урожайность гороха.

Значительное влияние на повышение урожайности гороха в зернопаровом севообороте (III вариант опыта) из погодных факторов оказывали осадки июня, доля которых составила на интенсивном фоне питания $27,52\%$, на неудобренном фоне – $22,53\%$ с уровнем значимости $0,014$ и $0,029$ соответственно. Эффективное воздействие на снижение урожайности гороха в зерновом севообороте (V вариант опыта) из агрометеорологических условий оказали среднесуточная температура июня и суховеи мая, июня, июля, доля влияния которых составила от $21,26$ до $38,70\%$ с критерием уровня значимости $0,002-0,035$.

Продуктивная влага обеспечивала положительное влияние на урожай. Влияние весенней влаги на урожайность зерна наблюдалось в пятом варианте эксперимента на интенсивном фоне питания, составив $23,17\%$, на неудобренном фоне – $17,53\%$ с положительными показателями множественной регрессии (табл. 5). Наибольшее воздействие на урожайность оказывала израсходованная продуктивная влага за период вегетации гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте, доля которой составила на интенсивном фоне питания $45,11\%$, на контроле – $43,98\%$ при уровне значимости $0,001$. Наименьшее влияние на выход зерна оказывала израсходованная влага в первом варианте опыта, доля которой составила на интенсивном фоне питания $28,14\%$, на неудобренном фоне – $20,55\%$. В первом варианте эксперимента отмечались следующие положительные показатели на питательных (удобренный и неудобренный) фонах: регрессия – $0,01$ и $0,01$; стандартная ошибка – $0,46$ и $0,45$; критерий Стьюдента – $2,73$ и $2,22$; уровень значимости – $0,013$ и $0,039$; корреляция – $0,53$ и $0,45$; детерминация – $0,28$ и $0,20$.

Содержание азота в горизонте почвы $0-30$ см оказывало отрицательное влияние на урожайность гороха. Количество нитратного азота в почве перед уборкой воздействовало на выход зерна гороха в пятом варианте опыта. Влияние нитратного азота на интенсивном фоне питания составило $28,72\%$, на контроле – $39,58\%$ при уровне значимости $0,012$ и $0,002$ с отрицательными показателями коэффициента регрессии и критерий Стьюдента.

Израсходованный нитратный азот в почве за вегетационный период после внесения минеральных удобрений неблагоприятно повлиял на урожайность гороха (I вариант

опыта) в зернопаровом севообороте. Доля его влияния составила 24,34% с отрицательными показателями: регрессия – 0,01; стандартная ошибка – 0,47; критерий Стьюдента – 2,47; уровень значимости – 0,023; корреляция – 0,49; детерминация – 0,24.

В вариантах опыта отсутствовала или наблюдалась отрицательная связь урожайности гороха с содержанием элементов питания в горизонте почвы 0–30 см, что объяснялось проявлением дисбаланса в почве. В верхнем слое почвы происходило обильное накопление подвижных форм питательных веществ за счет последствия паровых предшественников, ежегодного внесения комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений (аммофоска) и биологических особенностей гороха (способность обогащать почву биологическим азотом). Черный пар накапливал и сохранял азот, фосфор и калий в почве за счет своих агрофизических и агрохимических свойств. В занятом (суданская трава) и сидеральном (овес и горох) парах происходил процесс мобилизации макроэлементов питания в почве благодаря разложению пожнивно-корневых органических остатков и зеленой массы. Таким образом, происходил почвенный дисбаланс подвижных форм питательных веществ, который приводил к понижению урожайности гороха в севооборотах.

В зерновом севообороте с твердой пшеницей (V вариант опыта) отмечалась наибольшая засоренность посева гороха однолетними и многолетними сорняками. В фазе всходов и созревания гороха количество сорных растений на интенсивном фоне питания составило 139 и 58 шт., на контроле – 109 и 49 шт./м² (табл. 6). Воздушно-сухая масса сорняков в фазе созревания гороха составила 47,1 и 42,2 г/м², что пояснялось наибольшей засоренностью посевов. В посевах гороха по мягкой и твердой пшенице в зернопаровых севооборотах (I, II, III, IV варианты опыта) наблюдалось наименьшее количество сорняков. В изучаемых фазах роста и развития гороха количество сорных растений на фоне с удобрениями составило от 40 до 100 шт., на контроле – 37–103 шт./м². Масса сорняков варьировала от 33,8 до 43,9 г/м². В результате засушливого вегетационного периода происходило понижение засоренности посевов и урожайности гороха.

Таблица 5

**Влияние продуктивной влаги и нитратного азота почвы
на урожайность гороха (2002–2022 гг.)**
(расчеты по данным [2, 3])

Table 5

Effect of productive moisture and nitrate nitrogen of the soil on pea yield (2002–2022)
[calculations based on references 2 and 3]

Вариант опыта	Лимитирующие факторы	Показатели регрессионного анализа						Доля влияния, %
		b ¹	so ²	t ³	p ⁴	r ⁵	(r ²) ⁶	
I	Влага израсходованная	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,46}{0,45}$	$\frac{2,73}{2,22}$	$\frac{0,013}{0,039}$	$\frac{0,53}{0,45}$	$\frac{0,28}{0,20}$	$\frac{28,14}{20,55}$
	Нитратный азот израсходованный	–0,01	0,47	–2,47	0,023	0,49	0,24	24,34
V	Влага после посева	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,46}{0,40}$	$\frac{2,39}{2,01}$	$\frac{0,027}{0,058}$	$\frac{0,48}{0,42}$	$\frac{0,23}{0,17}$	$\frac{23,17}{17,53}$
	Влага израсходованная	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,39}{0,33}$	$\frac{3,95}{3,86}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,67}{0,66}$	$\frac{0,45}{0,43}$	$\frac{45,11}{43,98}$
	Нитратный азот перед уборкой	$\frac{-0,01}{-0,01}$	$\frac{0,45}{0,34}$	$\frac{-2,77}{-3,53}$	$\frac{0,012}{0,002}$	$\frac{0,53}{0,63}$	$\frac{0,28}{0,39}$	$\frac{28,72}{39,58}$

Влияние сорных растений на урожайность гороха (2002–2022 гг.)
(расчеты по данным [3, 4])

Table 6

Effect of weeds on pea yield (2002–2022)
[calculations based on references 3 and 4]

Вариант опыта	Предшественник	Количество сорняков, шт/м ²		Масса, г/м ²	Уровень значимости, ед.		Доля влияния фактора, %	
		А	В	В	А	В	А	В
I	Твердая пшеница по чистому пару	$\frac{99^*}{84}$	$\frac{47^{**}}{37}$	$\frac{43,9}{33,8}$	$\frac{0,04}{0,09}$	$\frac{0,01}{0,02}$	$\frac{19,71}{13,79}$	$\frac{27,85}{23,50}$
II	Мягкая пшеница по черному пару	$\frac{93}{94}$	$\frac{44}{40}$	$\frac{37,6}{34,1}$	$\frac{0,09}{0,22}$	$\frac{0,08}{0,19}$	$\frac{14,40}{7,83}$	$\frac{14,92}{8,70}$
III	Мягкая пшеница по занятому пару	$\frac{100}{103}$	$\frac{44}{45}$	$\frac{41,3}{41,1}$	$\frac{0,16}{0,18}$	$\frac{0,11}{0,13}$	$\frac{10,26}{9,11}$	$\frac{13,06}{11,49}$
IV	Мягкая пшеница по сидеральному пару	$\frac{91}{85}$	$\frac{40}{38}$	$\frac{35,8}{34,3}$	$\frac{0,08}{0,07}$	$\frac{0,05}{0,06}$	$\frac{14,74}{15,37}$	$\frac{18,66}{17,43}$
V	Твердая пшеница по гороху	$\frac{139}{109}$	$\frac{58}{49}$	$\frac{47,1}{42,2}$	$\frac{0,01}{0,04}$	$\frac{0,003}{0,007}$	$\frac{29,62}{19,69}$	$\frac{37,81}{32,44}$

Примечание. А – в фазе всходов; В – в фазе созревания.

Проведенный множественный регрессионный анализ в вариантах опыта показал отрицательное влияние сорняков на урожайность гороха. В результате статистической обработки рассчитывался уровень значимости в пределах и выше нормы, составив от 0,003 до 0,22. Во втором и третьем вариантах посева на питательных фонах почвы прослеживалось незначительное воздействие сорных растений на урожайность зерна, и его доля составила от 7,83 до 14,92% с уровнем значимости 0,08...0,22. Повышение урожайности гороха в последствии мягкой пшеницы в многопольях незначительно зависело от сорных растений. Пониженный уровень выхода зерна гороха в первом варианте опыта, особенно в пятом, был связан с воздействием сорных растений в фазах роста и развития. Доля влияния сорняков варьировала в пределах от 13,79 до 37,81%. Регрессионный анализ данных показал, что понижение урожайности гороха на питательных фонах существенно зависело от засоренности посевов сегетальными растениями, кроме второго и третьего вариантов эксперимента.

Выявление существенной зависимости урожайности гороха в севооборотах от агрометеорологических условий, запасов влаги и макроэлементов почвенного питания, сорных растений, предшественников и минеральных удобрений являлось своевременным и актуальным. Впервые было установлено существенное влияние осадков июня, предшественника (мягкая пшеница) и минеральных удобрений (аммофоска) на повышение урожайности гороха в зернопаровом севообороте с занятым паром по сравнению с представленными данными отечественных и зарубежных исследований. В целом совокупность влияния изучаемых факторов приводила к понижению урожайности гороха, особенно в зерновом севообороте. В результате статистической обработки отмечалась наилучшая доля влияния осадков июня (47,32 и 54,79%)

и израсходованной влаги в почвенном горизонте 0–100 см (45,11 и 43,98%) на урожайность гороха в зерновом севообороте с твердой пшеницей на питательных (удобренный и неудобренный) фонах почвы.

Регрессионный анализ показал наилучшую взаимосвязь ($r = 0,74$) выпавших осадков в июне и урожайности гороха в пятом варианте эксперимента на неудобренном (контроль) фоне питания (рис. 1).

Данные рисунка 1 показывают прямо пропорциональную взаимосвязь: увеличение суммы осадков в июне приводило к повышению урожайности гороха в зерновом севообороте с твердой пшеницей, и наоборот. Такая зависимость осадков наблюдалась в фазе бутонизации и в начале цветения гороха, что повлияло на изменение урожайности зерна. В засушливые годы по причине нехватки выпавших осадков в июне происходило понижение урожайности гороха после предшественника твердой пшеницы в зерновом севообороте.

Множественная регрессия отражала значительную взаимосвязь ($r = 0,67$) израсходованной продуктивной влаги в метровом почвенном горизонте и урожайности гороха в последствии твердой пшеницы (V вариант опыта) в зерновом севообороте на фоне с минеральными удобрениями (рис. 2).

Из данных рисунка 2 просматривается прямо пропорциональная взаимосвязь израсходованной продуктивной влаги в почве и урожайности гороха: увеличение расхода влаги за вегетацию приводило к повышению выхода зерна гороха (2003, 2007, 2008, 2012, 2022 гг.) по твердой пшенице в зерновом севообороте, и наоборот. Данное положение объяснялось тем, что во влажные годы в метровом слое почвы одна часть продуктивной влаги расходовалась на рост, развитие и формирование урожайности гороха, другая – на жизнедеятельность сорных растений и на переход в нижние почвенные горизонты. В годы с сильной почвенной засухой (2009–2010 гг.) отмечалось уменьшение расхода продуктивной влаги за вегетационный период, так как происходило завядание гороха (гибель растения) и понижение урожайности.

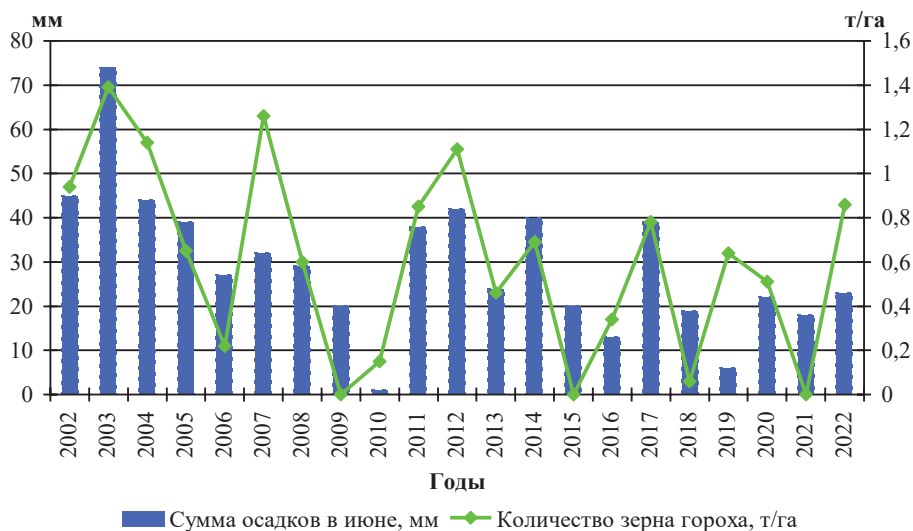


Рис. 1. Атмосферные осадки (гистограмма по левой шкале) и урожайность гороха (график по правой шкале) (расчеты по данным [1, 3])

Figure 1. Precipitation (histogram on the left scale) and pea yields (graph on the right scale) [calculations based on references 1 and 3]

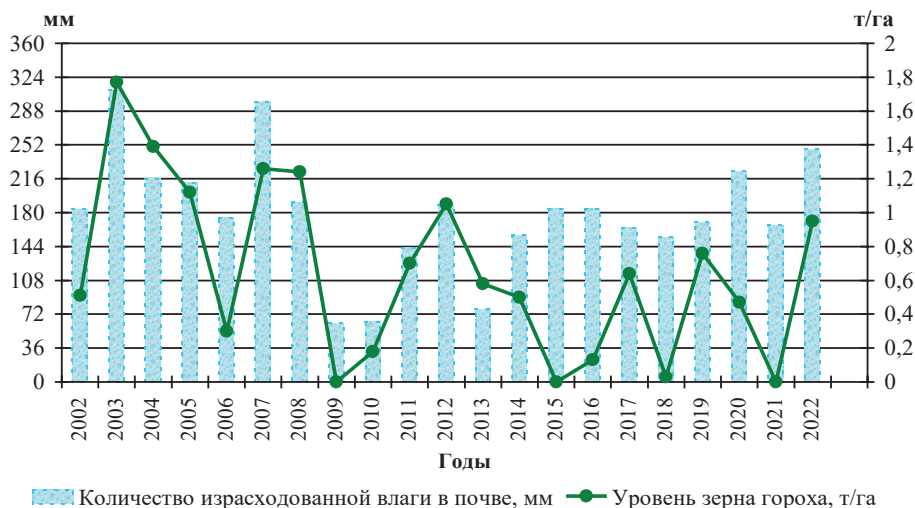


Рис. 2. Продуктивная влага (гистограмма по левой шкале) и урожайность гороха (график по правой шкале) (расчеты по данным [3])

Figure 2. Productive moisture (histogram on the left scale) and pea yield (graph on the right scale) [calculations based on reference 3]

На основании результатов исследований установлено, что в хозяйствах Оренбургской области для стабильной урожайности гороха сельхозпроизводителям необходимо применять посевы по твердой и мягкой пшенице в последствии черного, занятого (суданская трава) и сидерального (овес и горох) паров в зернопаровых (6-польных) севооборотах с длинной ротацией после внесения аммофоски под основную (осенняя вспашка) обработку почвы.

Выводы Conclusions

1. Возделывание гороха в зернопаровом севообороте (III вариант опыта) приводило к повышению урожайности зерна на питательных (удобренный и неудобренный) фонах почвы в зависимости от положительного влияния предшественника (мягкая пшеница) в севообороте с посевом суданской травы, осадков июня (27,52 и 22,53%) и прибавки зерна на 0,04 т от минеральных удобрений.

2. В результате выращивания гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте (V вариант эксперимента) наблюдалось понижение урожайности зерна на питательных (удобренный и неудобренный) фонах в зависимости: от отрицательного влияния температуры воздуха июня – 20,7°C (30,71 и 38,70%); числа суховейных дней мая – 16 (21,26 и 11,41%), июня – 14 (22,61 и 32,40%), июля – 15 (36,60 и 32,61%); содержания нитратного азота в почве перед уборкой – 86 мг (28,72%) и 74 (39,58%) мг/кг; наибольшей (средней) засоренности посевов – 49–139 шт/м² (19,69–37,81%) однолетними и многолетними сорняками, особенно в фазе созревания.

3. Недостаточное количество выпавших осадков в июне (29,3 мм, ниже нормы 39,0 мм) значительно воздействовало на снижение выхода зерна гороха по твердой пшенице в зерновом севообороте, особенно (54,79% с $r = 0,74$ при $p = 0,001$) на неудобренном фоне питания. Осадки июля (42,7 мм, выше нормы 41,0 мм) благоприятно влияли (23,13%) на формирование урожайности гороха после внесения минеральных

удобрений. Гидротермический коэффициент (0,56) засушливого вегетационного периода гороха положительно влиял (43,57–26,07%) на понижение урожайности зерна.

4. Весенние запасы продуктивной влаги благоприятно влияли на урожайность гороха (V вариант опыта), но в наименьшей степени (17,53%) – особенно на контроле. Израсходованная влага в метровом горизонте почвы (179,6 мм) за период вегетации гороха положительно воздействовала на выход зерна, особенно (45,11% с $t = 0,67$ при $p = 0,001$) на удобренном фоне питания.

5. Возделывание культуры в зерновом севообороте с короткой ротацией было малоэффективным в засушливых условиях вегетационного периода за счет засоренности посевов (истощение почвы), биологических особенностей гороха (образование биологического азота) и многолетнего внесения ($N_{40}P_{80}K_{40}$) аммофоски. В связи с этим почва обогащалась избыточным содержанием макроэлементов питания, особенно азота, приводящим к дисбалансу подвижных форм питательных веществ.

6. Отрицательное воздействие проявляла среднесуточная температура воздуха июня (28,26–31,56%) на выход зерна гороха в последствии твердой и мягкой пшеницы на питательных (удобренный и неудобренный) фонах (I и II варианты эксперимента) почвы в зернопаровых севооборотах. Недобор осадков в июне оказал положительное влияние (22,89–34,50%) на понижение урожайности гороха. Благоприятно влиял гидротермический коэффициент засушливого периода (20,03–22,54%) на урожайность гороха после внесения минеральных удобрений.

7. Неблагоприятное влияние оказывали суховейные дни июня и июля (20,80–41,25%) на урожайность гороха по твердой и мягкой пшенице в последствии черного и сидерального паров в севооборотах (I, II, IV варианты опыта) на фонах питания. В результате обработки гербицидом (Пульсар – 0,70–0,80 л/га) наблюдалась слабая засоренность посевов гороха однолетними и многолетними сорняками. Сорные растения в основном отрицательно влияли (7,83–27,85%) на урожай, особенно в фазе созревания на интенсивном фоне питания.

8. Недостаток азота в почве приводил к наименьшему расходу содержания макроэлемента питания за вегетационный период гороха (I вариант опыта), что отрицательно влияло (24,34%) на урожайность зерна после внесения минеральных удобрений. Благодаря израсходованной влаге за период вегетации гороха в последствии твердой пшеницы в зернопаровом севообороте с черным паром происходило положительное воздействие (28,14%) на урожайность зерна на удобренном фоне питания.

9. Наибольший расход азота в почве влиял на прибавку зерна гороха (IV вариант опыта) в сидеральном севообороте. В результате исследований выявлен наилучший удобренный фон питания гороха по предшественникам (твердая и мягкая пшеница) в зернопаровом и сидеральном севооборотах (I, IV варианты опыта), так как отмечалась наибольшая прибавка зерна от аммофоски.

10. Совокупность изучаемых факторов оказывала разнообразное влияние на урожайность гороха в сложившихся почвенно-климатических условиях опытного участка, поэтому малоэффективным является применение одной агротехнологии возделывания в системе севооборотов.

Список источников

1. Дедов А.В., Несмеянова М.А. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 13, № 1. С. 50-60. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.1.50>

2. Семешкина П.С., Бородина Е.С. Влияние бобовых культур и удобрений на продуктивность севооборотов и плодородие почвы // *Аграрный вестник Урала*. 2023. Т. 23, № 12. С. 12-21. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21>
3. Воскобулова Н.И., Верещагина А.С., Ураскулов Р.Ш. Влияние сроков посева гороха на использование продуктивной влаги // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 2 (82). С. 72-75. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-82-2-72-75>
4. Куликова А.Х., Сайдяшева Г.В., Лашенков А.Н. Сравнительная эффективность интенсивной и биологизированной технологий возделывания в формировании запасов продуктивной влаги под посевами и урожайности гороха // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4 (60). С. 45-52. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-4-45-52>
5. Букин О.В., Бочкарев Д.В., Никольский А.Н., Смолин Н.В. Влияние приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги и урожайность гороха посевного в условиях лесостепи Европейской части России // *Аграрная наука*. 2020. № 6. С. 58-61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-58-61>
6. Полоус В.С., Осауленко С.Н. Влияние способов и приемов основной обработки чернозема обыкновенного на урожайность, качество и эффективность возделывания гороха // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2021. № 90. С. 78-85. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-90-78-85>
7. Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов гороха в условиях Нижнего Дона // *Земледелие*. 2024. № 7. С. 19-24. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-19-24>
8. Вошедский Н.Н., Кулыгин В.А. Влияние приемов возделывания на урожайность и водопотребление гороха в условиях Ростовской области // *Мелиорация и гидротехника*. 2024. Т. 14, № 3. С. 211-227. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-211-227>
9. Пискарьева Л.А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна гороха сорта Фокор // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 3 (39). С. 85-90. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-85-90>
10. Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В. Влияние сорных растений и аммофоса на выход зерна гороха в степной зоне Южного Урала // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (57). С. 35-45. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-57-4-35-45>
11. Митрофанов Д.В. Воздействие влажности, температуры и биологической активности почвы на урожайность гороха в засушливых условиях Оренбуржья // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024. № 1 (65). С. 31-38. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-31-38>
12. Постников П.А. Метеорологические условия и урожайность гороха в севооборотах // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32, № 10. С. 57-60. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11013>
13. Морозов А.Н., Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Шумаков А.В. Влияние технологий возделывания на засоренность посевов и продуктивность гороха посевного // *Зерновое хозяйство России*. 2024. Т. 16, № 2. С. 98-105. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-98-105>
14. Евсенина М.В., Виноградов Д.В., Лупова Е.И. Оценка эффективности применения гербицидов в посевах сои и гороха // *Пермский аграрный вестник*. 2024. № 3 (47). С. 12-19. <https://doi.org/10.47737/2307-2873-2024-47-12>
15. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Сафин Ф.Ф. Применение гербицидов и боронования для борьбы с сорняками на посевах гороха в условиях Республики Башкортостан // *Зерновое хозяйство России*. 2022. № 1 (79). С. 77-82. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-77-82>

16. Singhal N., Siag M., Sharma P. et al. Impact of moisture regimes on yield and soil microbial population in pea (*Pisum sativum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022;92(5):572-576. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i5.124626>
17. Faligowska A., Kalembsa S., Kalembsa D. et al. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems. *Agronomy*. 2022;12(2):352-365. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020352>
18. Anitha P., Hanumantharaya B.G. Assessment of yield and quality attributes of garden pea (*Pisum sativum*. L) varieties under shade house condition. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2022;12(12):274-282. <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i121464>
19. Singhal N., Sharma P., Sharda R. et al. Assessment of growth parameters and yield of pea (*Pisum sativum*) under different irrigation methods. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2021;91(9):1378-1381. <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i9.116093>
20. Sarfraz M., Hussain K., Nawaz K. et al. Determination of effective method of NPK fertilization in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Pakistan. *Legume Research*. 2020;44(4):431-438. <https://doi.org/10.18805/LR-570>

References

1. Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. Studies of the influence of crop rotation on the content of soil organic matter and the crop productivity. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(1):50-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.1.50>
2. Semeshkina P.S., Borodina E.S. The influence of legumes and fertilizers on crop rotation productivity and soil fertility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;12(23):12-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21>
3. Voskobulova N.I., Vereshchagina A.S., Uraskulov R.Sh. The influence of pea sowing time on productive moisture utilization. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;2(82):72-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-82-2-72-75>
4. Kulikova A.Kh., Saydyasheva G.V., Lashchenkov A.N. Comparative efficiency of intensive and biologized cultivation technologies in formation of productive moisture reserves under crops and pea yield. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2022;4(60):45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-4-45-52>
5. Bukin O.V., Bochkarev D.V., Nikolsky A.N., Smolin N.V. The influence of primary tillage methods on the dynamics of moisture reserves and the yield of peas in the forest-steppe of the European part of Russia. *Agrarian science*. 2020;(6):58-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-58-61>
6. Polous V.S., Osaulenko S.N. Influence of methods and techniques of basic processing of ordinary chernozem on yield, quality and efficiency of pea cultivation. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;90:78-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-90-78-85>
7. Voshedskiy N.N., Kulygin V.A. The impact of elements of cultivation technology on the yield of new varieties of peas under the conditions of the Lower Don. *Zemledelie*. 2024;7:19-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-7-19-24>
8. Voshedskiy N.N., Kulygin V.A. The influence of cultivation methods on the yield and water consumption of peas in Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(3):211-227. (In Russ.) <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-3-211-227>
9. Piskareva L.A. The effect of mineral fertilizers on productivity and the quality of the grain of the Focor pea variety. *Legumes and Groat Crops*. 2021;3(39):85-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-85-90>

10. Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V. The influence of weeds and ammophos on the yield of pea grain in the steppe zone of the Southern Urals. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020;4(57):35-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-85-90>
11. Mitrofanov D.V. The impact of humidity, temperature and biological activity of soil on pea yield in arid conditions of Orenburg region. *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024;1(65):31-38 (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-1-31-38>
12. Postnikov P.A. Meteorological conditions and pea productivity in crop rotations. *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex*. 2018;32(10):57-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11013>
13. Morozov A.N., Dubovik D.V., Dubovik E.V., Shumakov A.V. The effect of cultivation technologies on weed infestation and productivity of peas. *Grain Economy of Russia*. 2024;16(2):98-105. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-98-105>
14. Evsenina M.V., Vinogradov D.V., Lupova E.I. Assessment of the effectiveness of herbicide application in soybean and peas crops. *Perm Agrarian Journal*. 2024;3(47):12-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.47737/2307-2873-2024-47-12>
15. Davletov F.A., Gainullina K.P., Safin F.F. The use of herbicides and harrowing for weed control on peas in the Republic of Bashkortostan. *Grain Economy of Russia*. 2022;1(79):77-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-77-82>
16. Singhal N., Siag M., Sharma P. et al. Impact of moisture regimes on yield and soil microbial population in pea (*Pisum sativum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022;92(5):572-576. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i5.124626>
17. Faligowska A., Kalembasa S., Kalembasa D. et al. The nitrogen fixation and yielding of pea in different soil tillage systems. *Agronomy*. 2022;12(2):352-365. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020352>
18. Anitha P., Hanumantharaya B.G. Assessment of yield and quality attributes of garden pea (*Pisum sativum*. L) varieties under shade house condition. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2022;12(12):274-282. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i121464>
19. Singhal N., Sharma P., Sharda R. et al. Assessment of growth parameters and yield of pea (*Pisum sativum*) under different irrigation methods. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2021;91(9):1378-1381. <https://doi.org/10.56093/ijas.v91i9.116093>
20. Sarfraz M., Hussain K., Nawaz K. et al. Determination of effective method of NPK fertilization in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Pakistan. *Legume Research*. 2020;44(4):431-438. <https://doi.org/10.18805/LR-570>

Сведения об авторе

Дмитрий Владимирович Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»; 460000, Российская Федерация, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; тел.: (3532) 30–83–46; e-mail: dvm.80@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7172-6904

Information about the authors

Dmitry V. Mitrofanov, CSc (Ag), Leading Research Associate, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS; 299-ogo Yanvary st., Orenburg, 460000, Russian Federation; phone: (3532) 30–83–46; e-mail: dvm.80@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7172-6904>