УДК 631.816:634.237(470.44)

УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ЛЕСНЫХ ПОЛОС И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

ПАНФИЛОВА Екатерина Геннадьевна, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ПРОЕЗДОВ Пётр Николаевич, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ПАНФИЛОВ Андрей Владимирович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

РОЗАНОВ Александр Владимирович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ИСАЕВ Николай Кабдуситович, *Пензенский государственный аграрный университет*

В статье анализируется трехлетний, трехфакторный опыт воздействия системы лесных полос и минеральных удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы Фаворит в степи Поволжья. Изучен теоретический аспект решения задачи роста урожайности яровой пшеницы с использованием аналитического и эмпирического методов, на основе которых построена множественная регрессия. За период исследований прибавка урожайности яровой пшеницы под влиянием оптимальных конструкций лесных полос и удобрений выросла на 3,0 %. Показано, что во влажные годы необходимо увеличить дозу минеральных удобрений в виде подкормок в период вегетации культуры. Исследовано воздействие ажурности и расстояния от полезащитных лесных полос, времени суток на освещенность посевов яровой пшеницы. При регрессионном анализе использовалась относительная освещенность: отношение освещенности под влиянием полезащитных лесных полос к освещенности открытого поля яровой пшеницы. Регрессионно-корреляционный анализ выявил, что наибольшее влияние на урожайность яровой пшеницы оказывают доза удобрений и ажурность, затем доза удобрений и расстояние от лесной полосы и наименьшее – ажурность и расстояние от лесной полосы.

Введение. Производство зерна является приоритетным направлением развития отрасли растениеводства степного Поволжья. Ведущая зерновая культура Саратовской области – пшеница, в том числе яровая, которая в валовом сборе зерна объемом 6,3 млн т во влажном 2017 г. сыграла немаловажную роль. Важнейшими факторами повышения урожайности зерна пшеницы являются химические и лесные мелиорации. В хозяйствах Правобережья Саратовской области созданы уникальные объекты завершенных систем полезащитных лесных полос, назначение которых состоит в улучшении микроклимата прилегающих полей и увеличении продуктивности культур севооборота.

Цель данной работы – изучение процесса формирования урожая зерна пшеницы, его качества под воздействием минеральных удобрений и системы лесных полос в степи Поволжья.

Методика исследований. Уникальный объект полезащитных лесных полос находится на землях ОПХ РосНИИСК «Россорго» с площадью лесных полос 45 га, расположенных через 400–420 м, защищающих около 1000 га пашни (рис. 1, 2) [1, 2, 4, 6–8]. Эксперимент проводили в 2015–2017 гг. по трехфакторной схеме. Дозы удобрений: A_1 – без удобрений; A_2 – $N_{60}P_{60}K_{20}$ (140 кг/га); A_3 – $N_{60}P_{90}K_{60}$ + N_{30} (трубкование, 220 кг/га). Во влажном 2017 г. испытывали вариант A_4 с дозой удобрений $N_{90}P_{90}K_{40}$ + N_{45} (кущение) + N_{45} (колошение) – 310 кг/га). Для этого делянки варианта A_3 поделили пополам по 25 м^2 (5×5). Сроки внесения: Р и К – под зиму, N – дробно весной и в вегетацию. Конструкции полезащитных лесных полос (ПЗЛП) сформировали по методике ВНИАЛМИ [5]. Закладку, проведение, обработку экспериментальных данных выполняли по методикам Б.А. Доспехова [3] и НИИСХ Юго-Востока [9].

Почва опытного участка – чернозем южный среднесуглинистый несмытый и слабосмытый на тяжелых суглинках. Мощность почвенных горизонтов А+В = 0,6–0,7 м с содержанием гумуса в горизонте А – 3,9–4,2 % (табл. 1). Глубина залегания грунтовых вод – 15–20 м с общей минерализацией до 1,2 г/л.

Лесные полосы способствуют подкислению почвенных растворов как в самом насаждении,

o o o – *лесные полосы,* vvv – *пастбище,*
←←← – *экологический профиль,*
1/159 – номер поля/площадь
Рис. 1. Схема опытов ОПХ РосНИИСК «Россорго»

Рис. 2 . Схема опытов ОПХ РосНИИСК «Россорго» (космоснимок)

так и вблизи него (pH водной вытяжки – 6,9–7,0, на контроле – 7,4).

По данным метеостанции Саратова, среднегодовая сумма осадков составляет 410 мм с амплитудой колебания 250–668 мм. Меньше всего осадков выпадает с декабря по апрель (112 мм), а основная масса – в июне – июле в виде ливней (87 мм). В теплый период (апрель – октябрь) количество осадков изменяется от 200 до 350 мм. В розе ветров в целом преобладают западные и северо-западные направления, приносящие осадки, суховейные ветры южного и юго-восточного направления. Среднее число дней в году с метелями – 29, а с суховеями – 19.

Образование устойчивого снежного покрова наблюдается к концу ноября – началу декабря, и лежит он до первой декады апреля, 120–127 дней. Осадки за период декабрь – март составляют около 101 мм, что соответствует 25 % годовой нормы, среднегодовой запас воды в снеге весной – 80 мм.

Результаты исследований. Теоретический аспект решения задачи повышения продуктивности яровой пшеницы заключается в использовании аналитического и эмпирического методов, на основе которых построена множественная регрессия:

$$Y = B_0+B_1H+B_2A+B_3U+B_4HA+B_5AU+ +B_6HU+B_7HAU,$$

где Y – урожайность яровой пшеницы, т/га; B_0–B_7 – коэффициенты множественной регрессии; H – расстояние от ЛП, измеряемое в единицах защитной высоты ЛП (H = 8 м); А – ажурность ЛП,%; U – доза минеральных удобрений NPK, кг/га.

Уравнения множественной регрессии в зависимости от увлажнения вегетационного периода возделывания яровой пшеницы:

для среднего по увлажнению 2015 г.

$$Y = 1{,}43+0{,}068H - 0{,}012U+ 0{,}085A+ +0{,}0002HU - 0{,}0045HA + 0{,}00009UA+ +0{,}0000008HUA;\ R^2 = 0{,}98;$$

для влажного 2017 г.

Таблица 1

Агрохимические свойства чернозема южного

Пункт наблюдения	Глубина отбора образца, см	Генетический горизонт	Гумус, %	pH водной вытяжки	Подвижные формы, мг/кг		
					N_2	P_2O_5	K_2O
Лесная полоса	2–30	А	4,39	6,9	8,7	11,0	337
	31–80	В	2,81	7,0	7,7	6,9	340
3*H*	0–25	А	4,20	7,1	9,0	12,0	321
	26–70	В	2,77	7,3	8,1	6,8	315
10*H*	0–23	А	3,93	7,2	9,6	10,5	311
	24–60	В	2,50	7,4	8,0	5,8	311
Контроль 25*H*	0–22	А	3,90	7,4	8,4	9,5	309
	23–60	В	2,46	7,6	8,0	4,0	301

Примечание: *H* – защитная высота лесной полосы (*H* = 8 м).

$$Y = 0{,}93 - 0{,}23H + 0{,}065U + 0{,}29A + \\ +0{,}0008HU + 0{,}004HA - 0{,}004UA + \\ + 0{,}00002HUA;\ R^2 = 0{,}98.$$

Поверхность отклика для предложенной регрессионной модели представляет собой сложное многомерное многообразие. Соответствующую гиперповерхность на плоскости изобразить невозможно. Поэтому для отображения ее основных особенностей построены отдельные трехмерные сечения. Анализ показал, что наибольшее влияние на урожайность яровой пшеницы независимо от увлажнения вегетационного периода в системе лесных полос оказывают доза удобрений и ажурность ($R^2 = 0{,}98$), рис. 3, 4; доза удобрений и расстояние от ЛП ($R^2 = 0{,}76$; 0,97), рис. 5, 6 и наименьшее – ажурность и расстояние от ЛП ($R^2 = 0{,}63$; 0,68), рис. 7, 8.

Сравнение трехлетних данных (2015–2017 гг.) показало, что в средние по увлажнению годы вегетационного периода яровой пшеницы влияние конструкций ЛП и удобрений примерно одинаково, с некоторым преимуществом удобрений – на 4,7–7,3 %. Во влажные годы преимущество воздействия удобрений над конструкцией ЛП возрастает на 7,3–67,7 % (см. рис. 3–8, табл. 2).

В среднем за годы исследований прибавка урожайности яровой пшеницы под влиянием оптимальных конструкций ЛП повысилась на 2,4 %, под влиянием удобрений – на 0,5 %, совместно – на 3,0 %. Во

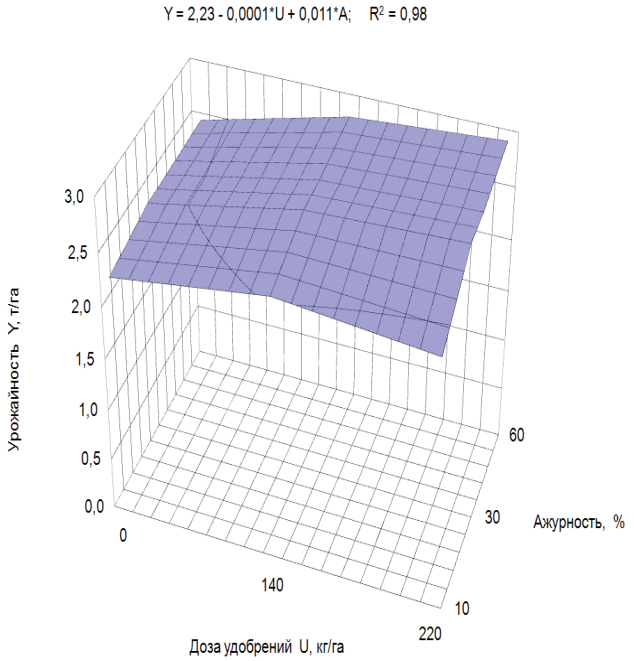

Рис. 3. Зависимость урожайности пшеницы от дозы удобрений и ажурности на расстоянии от лесной полосы 5Н в среднем по увлажнению 2015 г.

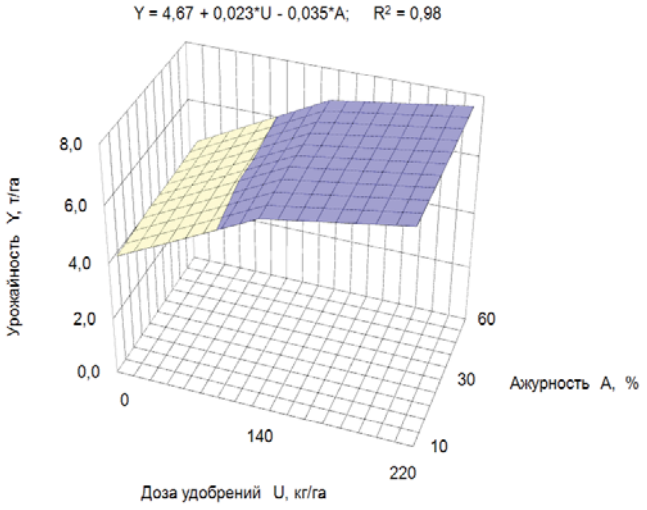

Рис. 4. Зависимость урожайности пшеницы от дозы удобрений и ажурности на расстоянии от лесной полосы 5Н во влажном 2017 г.

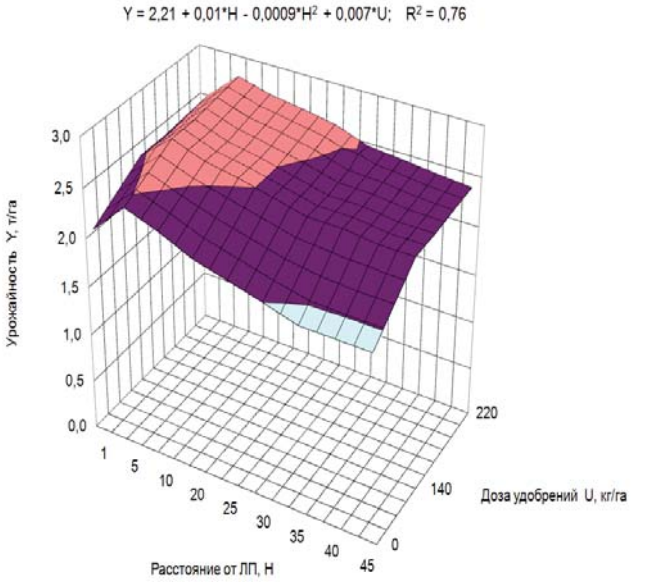

Рис. 5. Зависимость урожайности пшеницы от дозы удобрений и расстояния от лесной полосы ажурной конструкции в среднем по увлажнению 2015 г.

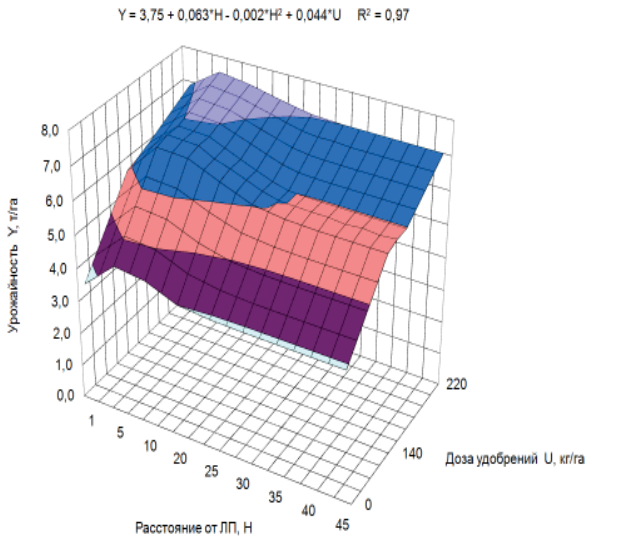

Рис. 6. Зависимость урожайности пшеницы от дозы удобрений и расстояния от лесной полосы ажурной конструкции во влажном 2017 г.

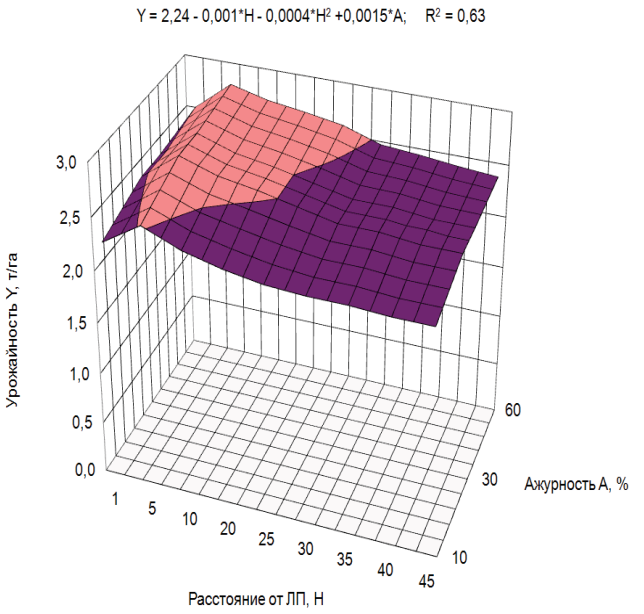

Рис. 7. Зависимость урожайности пшеницы от расстояния и ажурности лесной полосы при дозе удобрений 140 кг/га в среднем по увлажнению 2015 г.

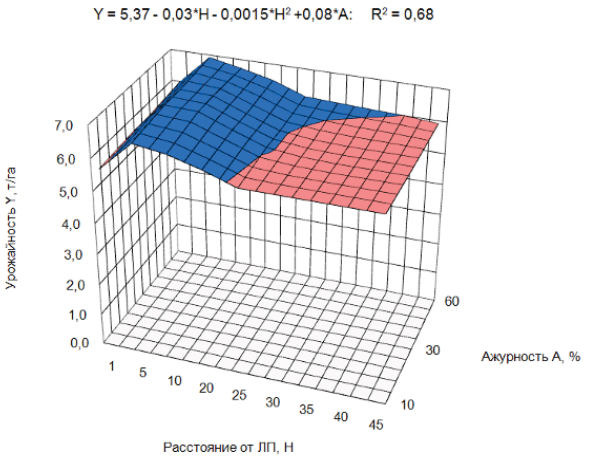

Рис. 8. Зависимость урожайности пшеницы от расстояния и ажурности лесной полосы при дозе удобрений 140 кг/га во влажном 2017 г.

влажные годы в соответствии с почвенными влагозапасами необходимо повысить дозу минеральных удобрений в виде подкормок в течение вегетационного периода возделывания яровой пшеницы (см. табл. 2).

Динамика урожайности пшеницы во многом определяется конструкцией лесных полос. Ажурность в свою очередь влияет на микроклиматические показатели поля культуры, причем воздействие зависит от увлажнения вегетационного периода.

В средние по увлажнению годы наибольшее влияние на урожайность пшеницы в системе ПЗЛП оказывают влажность воздуха *p* (R^2 = 0,93), рис. 9; дефицит водного баланса *d* (R^2 = 0,70). На это указывают уменьшение коэффициента детерминации и значительное увеличение среднего абсолютного отклонения и средней абсолютной ошибки в процентах при исключении этого фактора из модели данных. Третьим по значимости фактором является температура воздуха *t* в приземном слое (R^2 = 0,59). Чуть менее значимое влияние оказывает расстояние *H* от ПЗЛП, причем не только линейное, но и квадратичное.

Во влажные годы наибольшее воздействие на урожайность пшеницы в системе лесных полос оказывают температура воздуха (R^2 = 0,96), влажность воздуха (R^2 = 0,92) и дефицит водного баланса (R^2 = 0,75). Анализ позволил установить, что максимальное воздействие на урожайность в годы устойчивого циклона с пониженной температурой оказывает произведение *t*A, которое характеризует взаимное влияние температуры воздуха и ажурности лесной полосы. Менее важную роль играют факторы *tp* (температуры и влажности воздуха) и *td* (температуры и дефицита водного баланса).

Нами впервые изучалось воздействие ажурности и расстояния от ПЗЛП, времени суток на освещнность посевов яровой пшеницы. Замер осуществляли люксметром-термогигрометром ТКА-ПКМ через каждые 2 ч с 5 до 20 ч 25 июля 2017 г. при безоблачном небе. Наблюдения проводили на заветренной стороне ПЗЛП на расстоянии 0*H* (опушка лесной полосы), 1*H*, 3*H*, 5*H*, 10*H*. Для удобства регрессионного анализа нами использовалась относительная освещенность, как отношение освещенности под влиянием ПЗЛП к освещенности открытого поля пшеницы на идентичном расстоянии. Практически освещенность культуры с заветренной стороны ПЗЛП достигала значений открытого поля к 9–10 ч утра с коэффициентом детерминации связи параметров 0,93. Урожайность пшеницы снижалась на расстоянии от ПЗЛП до 1*H* в зависимости от конструкции и увлажнения вегетационного периода на 2,3–13,6 %, в среднем на 8,0 % (см. рис. 5–8).

Урожайность яровой пшеницы зависела от гидротермического коэффициента (ГТК): 2015 г. – 0,64; 2016 г. – 0,88; 2017 г. – 1,81. В средний по увлажнению вегетационного периода год влияние конструкции ЛП и удобрений примерно одинаково, с некоторым преимуществом удобрений – на 4,7–7,3 %. Во влажный год преимущественное воздействие удобрений в зависимости от дозы над конструкцией ЛП возрастало на 7,3–67,7 %. Наибольшая урожайность пшеницы в

Таблица 2

Урожайность яровой пшеницы под влиянием системы лесных полос и удобрений в степи Приволжской возвышенности , т/га (в среднем за 2015–2017 гг.)

Доза удобрений (фактор А), кг/га	Конструкция лесных полос (фактор В)											
	плотная				ажурная				продуваемая			
	1*H*	5*H*	1–20*H*	25*H*	1*H*	5*H*	1–30*H*	35*H*	1*H*	5*H*	1–40*H*	45*H*
0	2,75	3,30	3,07	2,89	2,96	3,43	3,15	2,90	3,00	3,47	3,16	2,92
140	3,81	4,30	4,08	3,79	3,95	4,48	4,15	3.84	4,02	4,56	4,16	3,87
220	4,24	4,69	4,48	4,26	4,39	4,82	4,54	4,30	4,51	4,90	4,60	4,37
Среднее по дозе	4,02	4,50	4,28	4,04	4,17	4.65	4,34	4.07	4,26	4,73	4,38	4,12

Примечание: *H* – защитная высота лесных полос (*H* = 8 м); 1*H*–45*H* – расстояние от лесных полос (фактор С); $НСР_{05}$ = 0,15 т/га (для частных различий).

2017 г. была получена за счет благоприятного сочетания влажной осени, среднеснежной зимы и весенне-летнего обилия осадков, обеспечивших влагозапасы слоя почвы 0,6 м на уровне более 75 % НВ на протяжении вегетационного периода.

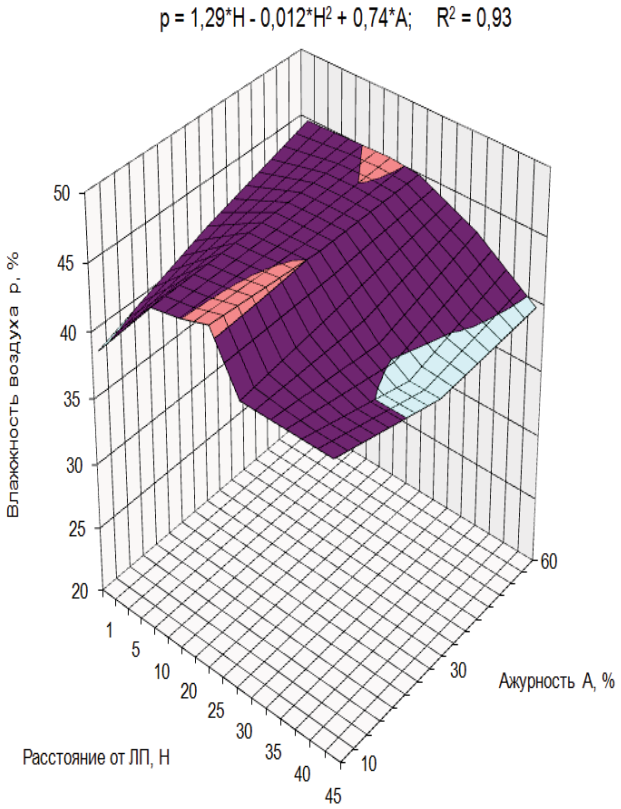

Рис. 9. Зависимость влажности воздуха на поле пшеницы от ажурности и расстояния от лесной полосы в среднем по увлажнению 2015 г.

Регрессионно-корреляционный анализ показал, что наибольшее влияние на урожайность яровой пшеницы независимо от увлажнения вегетационного периода в системе лесных полос оказывают доза удобрений и ажурность (R^2 = 0,98), затем доза удобрений и расстояние от ЛП (R^2 = 0,76; 0,97) и наименьшее – ажурность и расстояние от ЛП (R^2 = 0,63; 0,68).

Заключение. Для повышения урожайности яровой мягкой пшеницы необходимо формировать полезащитные лесные полосы продуваемой конструкции путем ухода за насаждениями с удалением сучьев на деревьях до высоты 1,5 м, усохших и больных растений, подроста и бурьяна; применять в качестве главной породы в лесных полосах дуб черешчатый, сопутствующей – клен остролистный со схемой смешения: клен-дуб-дуб-дуб-клен. Кроме того, следует принимать существенную зону мелиоративного влияния системы лесных полос на микроклимат и урожайность яровой пшеницы: для плотных ЛП – 20*H*, ажурных – 30*H*, продуваемых – 40*H*.

В ходе исследований было установлено, что под яровую пшеницу нужно применять 220 кг/га ($N_{90}P_{90}K_{40}$) минеральных удобрений: азота – 90 кг/га (в том числе подкормка – 30 кг/га), фосфора – 90 кг/га, калия – 40 кг/га. Во влажные вегетационные периоды возделывания культуры с влагозапасами в почве 75–80 % НВ доза удобрений повышается до 310 кг/га с

увеличением внесения азота в виде двух подкормок по 45 кг/га – $N_{180}P_{90}K_{40}$.

Полученные закономерности влияния лесных полос на микроклиматические факторы и урожайность яровой пшеницы могут быть использованы в системе точного земледелия для повышения эффективности и качества использования земель, снижения расхода удобрений и водных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агролесомелиорация / А.Л. Иванов [и др.]. – Волгоград, 2006. – 746 с.

2. Агролесомелиорация / П.Н. Проездов [и др.]. – Саратов, 2016. – 472 с.

3. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М., 1985. – 416 с.

4. *Маштаков Д.А., Проездов П.Н.* Состояние дубовых полезащитных лесных полос в условиях южного чернозёма степи // Научная жизнь. – 2015. – № 6. – С. 143–156.

5. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов / ВАСХНИЛ; ВНИАЛМИ. – М., 1985. – 112 с.

6. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения в различных гидротермических условиях степного Поволжья / В.В. Пронько [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 9. – С. 27–32.

7. *Проездов П.Н., Маштаков Д.А.* Лесомелиорация в первой четверти XXI века: исторические вехи, концепция, теория, эксперимент, практика, стратегия развития // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 8. – С. 24–29.

8. *Проездов П.Н., Панфилов А.В., Маштаков, Д.А.* Влияние системы лесных полос на факторы среды и урожайность яровой пшеницы в степной зоне // Научная жизнь. – 2016. – № 1. – С. 36–43.

9. Рекомендации по методике проведения наблюдений в полевом опыте / НИИСХ ЮВ. – Саратов, 1973. – 323 с.

Панфилова Екатерина Геннадьевна, *старший преподаватель кафедры «Междисциплинарная», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Проездов Пётр Николаевич, *д-р с.-х. наук, проф. кафедры «Агролесомелиорация и ландшафтное строительство», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Панфилов Андрей Владимирович, *д-р с.-х. наук, проф. кафедры «Агролесомелиорация и ландшафтное строительство», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Розанов Александр Владимирович, *канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Экономическая кибернетика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

Тел.: (8452) 23-73-94.

Исаев Николай Кабдуситович, *аспирант кафедры «Основы конструирования механизмов и машин», Пензенский государственный аграрный университет. Россия.*

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

Тел.: (8412) 62-81-34.

Ключевые слова: *яровая пшеница; лесные полосы; конструкция; удобрения; урожайность; дисперсия; регрессия; корреляция.*

THE YIELD OF SPRING WHEAT DEPENDING ON INFLUENCE OF THE SYSTEM OF FOREST BELTS AND MINERAL FERTILIZERS IN THE CONDITIONS OF CHERNOZEM SOUTHERN VOLGA UPLAND

Panfilova Ekaterina Gennadievna, *Senior Teacher of the chair "Interdisciplinary", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Proezdov Peter Nikolaevich, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the chair "Agroforestry and Landscape Construction", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Panfilov Andrey Vladimirovich, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the chair "Agroforestry and Landscape Construction", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Rozanov Alexander Vladimirovich, *Candidate of Physical and Mathematical Sciences,, Associate Professor of the chair "Economic Cybernetics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Isaev Nikolay Kabdusitovich, *Post-graduate Student of the chair "Basics of Designing Mechanisms", Penza State Agrarian University. Russia.*

Keywords: *spring wheat; forest strips; construction; fertilizers; yield; dispersion; regression; correlation.*

The article analyzes the three-year, three-factor experience of the impact of the system of forest strips and mineral fertilizers on the yield of spring wheat soft Favorit in the Volga steppe is studied. The theoretical aspect of solving the problem of increasing the yield of spring wheat using analytical and empirical methods, on the basis of which the multiple regression is built, was studied. During the research period, the increase in the yield of spring wheat under the influence of optimal designs of forest strips and fertilizers increased by 3.0%. In wet years, it is necessary to increase the dose of mineral fertilizers in the form of fertilizing during the growing season of spring wheat. The influence of openwork and distance from the forest shelterbelts, time of day on the illumination of spring wheat crops was studied. The regression analysis used the relative illumination as the ratio of illumination under the influence of field-protective forest strips to the illumination of the open field of spring wheat. The analysis of regression-correlation revealed that the greatest impact on the yield of spring wheat, have a dose of fertilizers and openwork, then the dose of fertilizers and the distance from the forest strip and the least – openwork and the distance from the forest strip.