

УДК 630*232.2:[551.584+631.8]

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКЦИЙ
ЛЕСНЫХ ПОЛОС И УДОБРЕНИЙ
НА МИКРОКЛИМАТ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ЮЖНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ****Есков Д.В.***ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова,
Саратов, e-mail: eskovdv@rambler.ru*

Цель исследований – установить закономерности повышения урожайности яровой мягкой пшеницы сорта «Фаворит», высеянной с применением минеральных удобрений, на полях с системой защитных лесных полос (ПЗЛП) различных конструкций. 13 ПЗЛП площадью 45 га были созданы в период с 1968 по 1970 гг. на землях ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». ПЗЛП располагаются перпендикулярно вредоносным юго-восточным ветрам. Межполосное расстояние составляет 400–420 м. Полосы созданы из дуба черешчатого (*Quercus robur*) и березы повислой (*Betula pendula*). Лесистость пашни составляет 4,5%. Система ПЗЛП является завершённой. Показатель защищённости прилегающих угодий – более 80%. Повышение урожайности культур севооборота в системе ПЗЛП происходит под влиянием конструкции, которая формирует микроклимат прилегающих полей. Воздействие микроклиматических показателей на динамику урожайности пшеницы зависит от увлажнения вегетационного периода. В средний (гидротермический коэффициент – $GTK=0,65$) и средневлажный ($GTK=0,88$) годы на урожайность пшеницы, высеянной под защитой лесных полос, наибольшее влияние оказывают: влажность воздуха, дефицит водного баланса и температура воздуха. В очень влажный ($GTK=1,81$) и влажный ($GTK=1,15$) годы микроклиматические показатели воздействуют на урожайность культуры по значимости в следующем убывающем порядке: температура и влажность воздуха, дефицит водного баланса. В средний сухой ($GTK=0,45$) и сухой ($GTK=0,30$) годы на урожайность пшеницы влияют дефицит водного баланса и влажность воздуха. Воздействие конструкции ПЗЛП и удобрений на урожайность пшеницы также зависит от года увлажнения выращивания культуры: в средние – с небольшим преимуществом удобрений (до 7,3%), во влажные годы влияние удобрений возрастает до 67,7%, в засушливые – превалирующее значение в формировании урожая культуры приобретает конструкция ПЗЛП – до 18,8%. В среднем за пять лет исследований (2015–2019 гг.) определено, что удобрения оказали преимущественное воздействие на урожайность пшеницы по сравнению с конструкцией ПЗЛП – до 9,0%.

Ключевые слова: лесные полосы, удобрения, микроклимат, урожайность пшеницы**REGULARITIES OF THE IMPACT OF FOREST STRIP CONSTRUCTIONS
AND FERTILIZERS ON THE MICROCLIMATE AND YIELD
OF SPRING WHEAT IN THE SOUTHERN CHERNOZEM****Eskov D.V.***Saratov State Agrarian University named N I Vavilov, Saratov, e-mail: eskovdv@rambler.ru*

The purpose of the research is to establish patterns of increasing the yield of spring soft wheat «Favorit» sown with the use of mineral fertilizers in fields with a system of protective forest strips (PZLP) of various designs. 13 PZLPS with an area of 45 hectares were created in the period from 1968 to 1970 on the lands of RosNIISK Rossorgo. PZLPS are located perpendicular to the harmful south-easterly winds. The inter-lane distance is 400–420 m. The stripes are made of pedunculate oak (*Quercus robur*) and hanging birch (*Betula pendula*). The forest cover of arable land is 4.5%. The PZLP system is complete. The indicator of protection of adjacent lands is more than 80%. The increase in crop yield in the crop rotation system occurs under the influence of a design that forms the microclimate of adjacent fields. The effect of microclimatic indicators on the dynamics of wheat yield depends on the moisture content of the growing season. In the average (hydrothermal coefficient – $GTK = 0.65$) and medium-wet ($GTK=0.88$) years, the yield of wheat sown under the protection of forest strips is most influenced by: air humidity, water deficit and air temperature. In very humid ($GTK=1.81$) and humid ($GTK=1.15$) years, the effects of microclimatic indicators on crop yield were arranged in descending order of importance: air temperature and humidity, water balance deficit. In the average dry ($GTK = 0.45$) and dry ($GTK = 0.30$) years, wheat yield is affected by water balance deficit and air humidity. The impact of the PZLP design and fertilizers on wheat yield also depends on the year of moisture cultivation of the crop: in the middle – with a slight advantage of fertilizers (up to 7.3%), in wet, the effect of fertilizers increases to 67.7%, in dry – the prevailing value in the formation of the crop crop is acquired by the PZLP design – up to 18.8%. On average, over the five years of research (2015–2019), fertilizers had a predominant effect on wheat yield compared to the design of PZLP up to 9.0%.

Keywords: forest strips, fertilizers, microclimate, wheat yield

Исследование влияния лесных полос на показатели микроклимата и урожайность культур севооборота не потеряло актуальности в первой четверти XXI века [1–4]. Воздействие лесных полос на увеличение урожайности

сельскохозяйственных культур особенно характерно для степных и лесостепных регионов РФ, где проведено достаточно большое количество наблюдений для создания рекомендаций аграрному производству [2–4].

За рубежом (в США, Индии, Китае) защитные свойства насаждений изучаются агролесоводством (агролесомелиорацией) с целью смягчения последствий изменения климата и решения проблемы продовольственной безопасности [5-7]. С увеличением увлажнения вегетационного периода повышается и влияние минеральных удобрений на урожайность культур севооборота: урожайность увеличивается на 11–30% [8]. Внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу увеличивает урожайность культуры в среднем на 12% и количество зимующих растений на 3–4% [9].

На сегодня отсутствуют исследования влияния лесных полос на освещенность посевов культур, которая, несомненно, связана с формированием урожая растений.

Цель исследования: установить закономерности влияния конструкций лесных полос и удобрений на микроклимат поля и урожайность яровой пшеницы.

Материалы и методы исследования

Объект исследований расположен на сельскохозяйственных полях ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (около 1000 га пашни). Площадь полезащитных лесных полос (ПЗЛП) составляет 45 га. Расстояние между полосами составляет 400–420 м. Лесистость территории составляет 4,5% (рис. 1). Закладку и проведение полевых опытов выполняли по общепринятым методам [10, 11, 12, 13]. Эксперимент проведен по трехфакторной схеме: три дозы удобрений (фактор А), три

типа конструкций ПЗЛП (фактор В) и девять вариантов расстояний от ПЗЛП (фактор С). Дозы минеральных удобрений: A_1 – без удобрений; A_2 – $N_{60}P_{60}K_{20}$ с нормой внесения 140 кг/га; A_3 – $N_{60}P_{90}K_{40}+N_{30}+N_{10}$ с нормой внесения 220 кг/га. Во влажный 2017 г. с запасами влаги в 0,6 м слое почвы на протяжении вегетации 70–85% НВ (ко времени уборки урожая 70% НВ) проводился опыт A_4 – $N_{60}P_{90}K_{40}+N_{30}+N_{10}$ с нормой внесения 230 кг/га. Для этого делянку 50 м² (5х10 м) разбили на две равные части, т.е. по 25 м² (5х5 м²) каждая. На одну из половин внесли азот в виде подкормки дозой 10 кг/га. Сроки внесения: фосфор и калий – под зиму, азот дробно весной и в вегетационные подкормками.

Научные исследования проводились на плотной (B_1) и ажурной (B_2) конструкциях ПЗЛП с различными вариантами просветов: в стволах <10% и кронах 30%; в стволах >60% и кронах <10%.

Обследование ПЗЛП выполнялось по методике ВНИАЛМИ [10]. Урожайность яровой пшеницы определяли с четырехкратной повторностью на различных расстояниях от ПЗЛП: от 1Н до 45Н с градацией через 5Н. В качестве контроля использовались данные, полученные для плотных ПЗЛП на расстоянии 25Н от лесной полосы, для ажурных – на 35Н, для продуваемых – на 45Н. Пробные учетные площадки размером 50 м² закладывались по ОСТ 56-69-83. Метод размещения вариантов – систематический, последовательный.

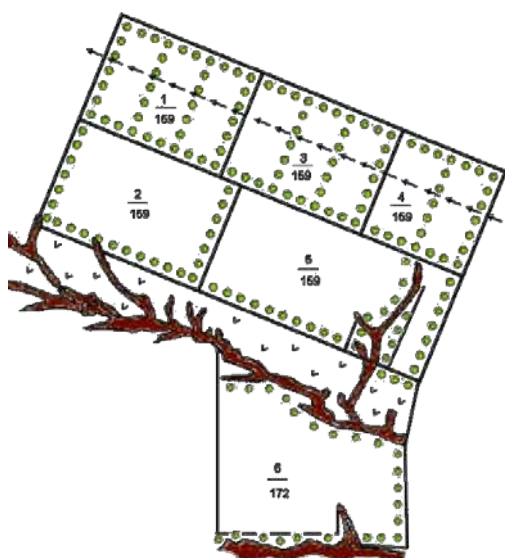


Рис. 1. Схема опытов и космоснимок полей ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»

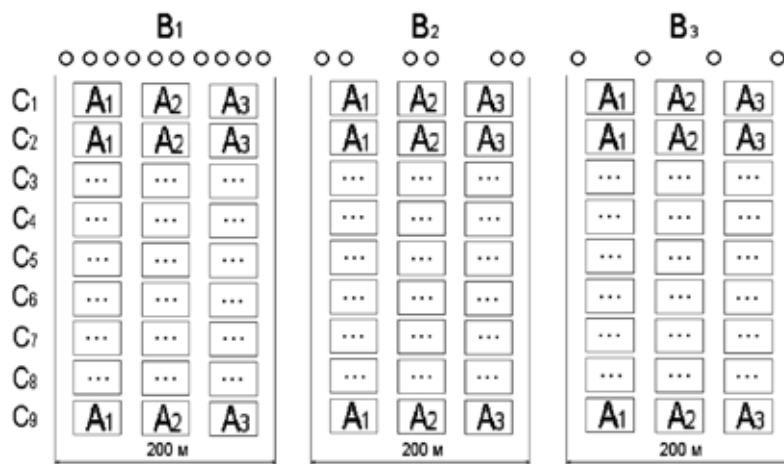


Рис. 2. Схема трехфакторного опыта с учетными площадками
 $A_1 - A_3$ – дозы удобрений; $B_1 - B_3$ – конструкции ПЗЛП; $C_1 - C_9$ – расстояния от ПЗЛП (8–400 м)

Применение и расчет дозы удобрений (NPK), учет урожая проводились в соответствии с методиками Б.А. Доспехова [13], Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова [12], ВНИАЛМИ [10].

В исследованиях для определения влияния ПЗЛП на микроклиматические показатели поля яровой пшеницы, согласно методике ВНИАЛМИ [11], использовались: на скорость ветра – анемометр АТЕ-1034; на температуру и влажность воздуха, освещенность – люксметр-термогигрометр ТКА-ПКМ. Осадки определялись pluviографом. Температура и влажность воздуха фиксировались в фазу цветения яровой пшеницы в 13.00 часов дня при скорости ветра 7 м/с с юго-восточной направленностью (господствующим направлением при засухе). Освещенность посевов культуры под влиянием ПЗЛП определялась при ясной погоде в течение дневного времени.

Для математической обработки материалов использовали профессиональные программы SciLaB, Statistica, Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Учет всего многообразия природных факторов (таких как осадки, приемы агролесомелиорации и агрохимии и др.), ко-

торые могут оказывать влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, является очень сложной научной задачей. Это связано с тем, что вся совокупность природно-антропогенных факторов есть не что иное, как многомерная гиперповерхность. Ее изучение очень затруднительно, поскольку структура бывает очень сложна. В исследованиях урожайности культур применялись математические модели и методы, которые позволяют учесть воздействие наиболее значимых факторов и представить их влияние в графическом виде. Обработка опытных данных проводилась математическими методами с применением дисперсионного и регрессивно-корреляционного анализов. Среди огромного многообразия факторов наиболее существенное влияние на урожайность пшеницы оказывают: освещенность посевов, конструкция и расстояние в системе ПЗЛП, удобрения, гидротермический коэффициент и некоторые другие микроклиматические показатели. Решить проблему влияния природно-антропогенных факторов на урожайность яровой пшеницы в теоретическом плане возможно путем использования следующих множественных регрессий, построенных на основе аналитическо-эмпирических методов:

$$Y = b_0 + b_1 H + b_2 E_0 + b_3 O_r + b_4 H E_0 + b_5 H O_r + b_6 E_0 O_r + b_7 H E_0 O_r; \quad (1)$$

$$Y = b_0 + b_1 O_r + b_2 A + b_3 U + b_4 O_r A + b_5 O_r U + b_6 A U + b_7 O_r A U, \quad (2)$$

где Y – урожайность яровой пшеницы, т/га;

$b_0 - b_7$ – коэффициенты множественной регрессии;

H – расстояние от ПЗЛП в единицах защитной высоты ($H=8$ м);

E_0 – относительная освещенность поля (отношение освещенности под влиянием лесных полос к освещенности открытого поля), %;

O_r – гидротермический коэффициент (отношение количества осадков, умноженное на 10, к сумме температур $>10^\circ\text{C}$ за вегетацию яровой пшеницы);

A – тип конструкции ПЗЛП, %: плотная – 10%; ажурная – 30%; продуваемая – 60%;

U – доза внесения минеральных удобрений (NPK), кг/га.

Таблица 1

Относительная освещенность при безоблачном небе, температура и влажность воздуха в зависимости от времени замера показателей, расстояния от лесной полосы и урожайности яровой пшеницы в разные по увлажнению годы

Время замера показателей, ч	Показатели	Расстояние от лесной полосы ажурной конструкции						
		0Н*	1Н	3Н	5Н	10Н	20Н	30Н
5.00	E_0 , %	3/3	5/5	7/7	8/8	11/11	90/90	100/100
	t, °C	16,4/24,8	16,2/23,9	16,0/23,7	15,8/23,2	15,6/23,5	15,7/23,7	15,7/23,8
	r, %	75,6/39,1	75,9/45,0	76,1/46,5	76,2/48,0	76,4/47,8	76,3/47,8	76,1/47,5
7.00	E_0 , %	5/5	7/7	9/9	11/11	12/12	95/95	100/100
	t, °C	17,1/26,3	17,0/26,0	16,8/25,9	16,6/25,8	16,7/26,0	16,8/26,1	17,0/26,1
	r, %	73,1/36,2	73,4/41,9	74,0/43,9	74,5/46,0	75,0/45,1	74,8/45,0	74,6/45,0
9.00	E_0 , %	92/92	100/100					
	t, °C	18,2/28,8	18,0/28,1	17,7/27,8	17,7/26,9	17,5/27,0	17,6/27,2	17,8/27,0
	r, %	71,8/34,3	72,0/39,6	72,4/44,7	73,0/45,9	73,4/45,0	73,1/44,8	72,9/44,6
11.00	E_0 , %	100/100						
	t, °C	18,7/29,0	18,5/28,6	18,5/28,0	18,2/27,5	18,0/27,2	18,3/27,3	18,0/27,0
	r, %	69,3/32,8	69,6/40,0	70,1/41,1	70,9/42,6	71,4/42,0	71,0/41,9	69,8/41,6
13.00	E_0 , %	100/100						
	t, °C	19,3/29,7	19,1/29,4	19,1/28,9	18,9/28,2	18,7/28,7	18,9/28,8	18,5/28,6
	r, %	65,6/31,0	65,9/38,9	66,7/39,9	67,5/41,5	68,0/40,4	67,8/40,3	67,6/40,1
15.00	E_0 , %	100/100						
	t, °C	18,8/28,9	18,6/28,4	18,5/28,0	18,3/27,4	18,3/27,9	18,4/28,0	18,2/27,9
	r, %	69,1/33,0	69,9/38,1	70,5/39,8	71,0/43,1	71,8/42,5	71,6/42,3	71,4/42,1
17.00	E_0 , %	100/100						
	t, °C	17,4/27,0	17,2/26,7	17,1/26,9	16,9/26,6	16,8/26,9	16,6/26,7	16,4/26,8
	r, %	73,2/35,5	73,9/39,9	74,5/44,0	74,9/45,4	75,5/44,1	75,1/44,0	74,8/43,8
20.00	E_0 , %	100/100						
	t, °C	15,9/23,9	15,6/23,2	15,6/23,0	15,3/22,4	15,1/22,7	15,0/22,5	14,8/22,3
	r, %	75,0/40,4	75,5/47,0	76,1/47,7	76,8/50,1	77,1/49,5	76,8/49,3	76,6/49,1
—		Урожайность яровой пшеницы, т/га						
		3,49/0,92	3,62/1,09	3,91/1,77	4,48/1,94	4,37/1,82	4,00/1,71	3,90/1,49

Примечания: числитель и знаменатель соответственно данные влажного 2017 (25.07) и сухого 2019 (22.07) годов; Н* – защитная высота ПЗЛП (Н=8 м). E_0 – относительная освещенность, %; t – температура воздуха, °C; r – влажность воздуха, %.

Системы ПЗЛП на полях создают микроклимат, который влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. Из микроклиматических показателей подвергаются изменению скорость ветра, температура и влажность воздуха, испарение, освещенность растений. Причем освещенность сельскохозяйственных культур с теневой

стороны ПЗЛП к 9–10 часам утра сравнима с показателями открытого поля – коэффициент детерминации связи данных параметров 0,96 (табл. 1).

Установлено, что температура и влажность воздуха имеют тенденцию к изменению наряду с освещенностью не только в течение суток, но и в зависимости от рас-

стояния от ПЗЛП и состояния погоды в разные по увлажнению годы. Температура воздуха при освещенности посевов пшеницы 100% на расстоянии 1 Н от ПЗЛП во влажном 2017 г. на 11 ч утра больше, чем при освещенности 7%, на 1,5°C. В сухом 2019 г. температура воздуха при тех же условиях составила 2,6°C. Динамика влажности воздуха имеет тенденцию обратной зависимости по отношению к температуре: соответствующие показатели уменьшаются во влажном 2017 г. на 3,8%, в сухом 2019 г. – на 1,9% (табл. 1).

Освещенность поля яровой пшеницы влияет на урожайность культуры в зависимости от расстояния от ПЗЛП. Чем ближе к ПЗЛП, начиная от 2–5Н до 0Н, тем меньше урожайность пшеницы, что связано с освещенностью поля. Снижение урожайности пшеницы в сухой 2019 г. (ГТК=0,30) на рас-

стоянии 0Н от ПЗЛП по отношению к максимальному расстоянию (5Н) отмечено более чем в 2 раза, на расстоянии 1Н – в 1,8 раза, а в очень влажный 2017 г. (ГТК=1,81) – соответственно на 28% и 24% (табл. 1).

В результате регрессионно-корреляционного анализа установлено, что урожайность яровой пшеницы на 92% связана с освещенностью поля и расстоянием от лесных полос (рис. 3). Урожайность пшеницы (табл. 2) обусловлена также условиями увлажнения вегетации (гидротермическим коэффициентом) и внесением минеральных удобрений.

Регрессионно-корреляционный анализ выявил тесную взаимосвязь между урожайностью пшеницы, конструкцией лесных полос, гидротермическим коэффициентом и дозой удобрений с коэффициентами детерминации 0,75–0,95 (рис. 4, 5, 6).

Таблица 2

Урожайность яровой пшеницы (т/га) на южном черноземе в зависимости от конструкции ПЗЛП, гидротермического коэффициента и дозы удобрений

Доза удобрений, кг/га	Значения гидротермического коэффициента в зависимости от конструкций ПЗЛП								
	Продуваемая			Ажурная			Плотная		
	0,30	0,64	1,81	0,30	0,64	1,81	0,30	0,64	1,81
0	2,00	2,43	4,55	1,94	2,42	4,48	1,70	2,30	4,32
140	2,28	2,79	6,92	2,19	2,72	6,82	1,90	2,52	6,67
220	2,32	2,90	7,62	2,23	2,79	7,53	1,97	2,58	7,49
230	–	–	7,85	–	–	7,76	–	–	7,64

Примечание: урожайность дана на расстоянии 5Н от лесных полос (ЛП). Н – защитная высота ЛП (Н=8 м).

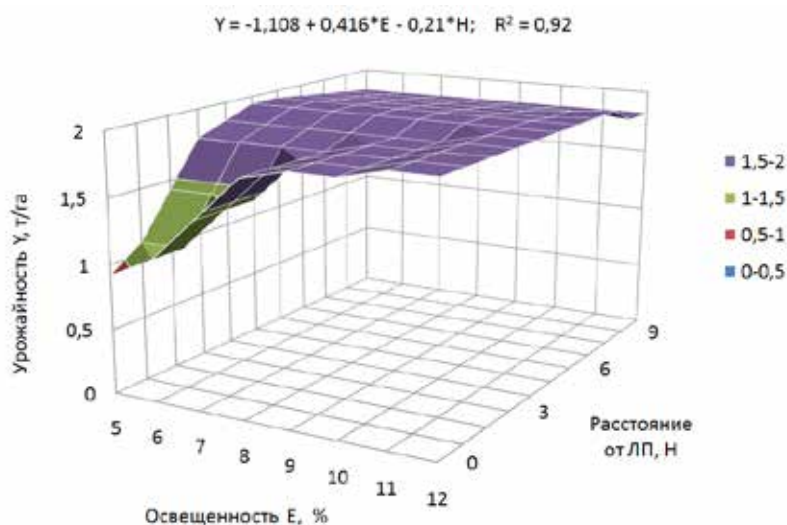


Рис. 3. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от расстояния от ПЗЛП и освещенности поля

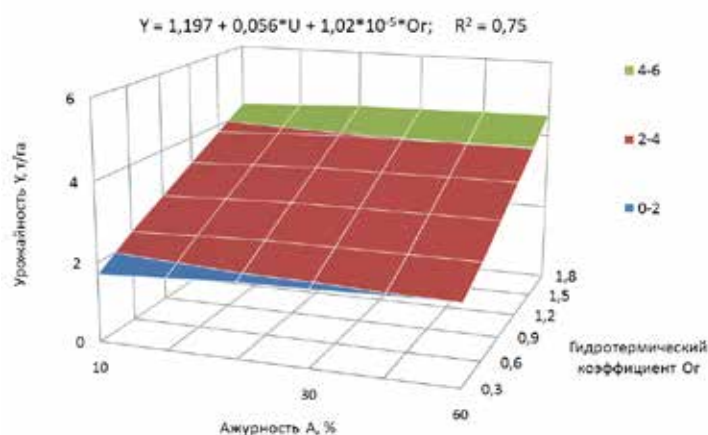


Рис. 4. Урожайность яровой пшеницы на расстоянии 5Н в зависимости от конструкции ПЗЛП и величины гидротермического коэффициента возделываемой культуры при дозе удобрений $U=0$ кг/га

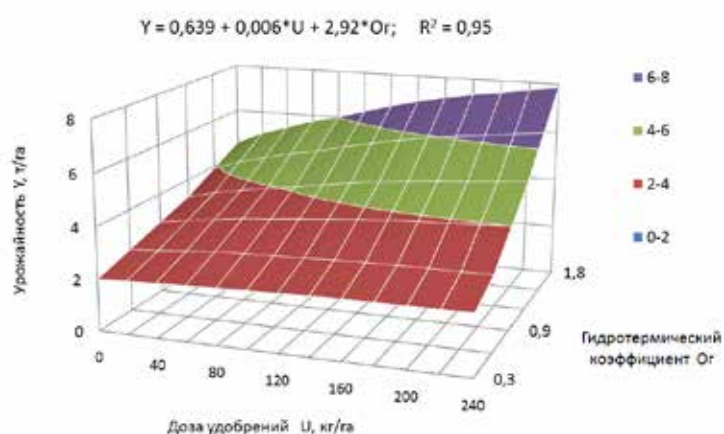


Рис. 5. Урожайность яровой пшеницы на расстоянии 5Н в системе ПЗЛП продуваемой конструкции в зависимости от дозы удобрений и величины гидротермического коэффициента возделываемой культуры

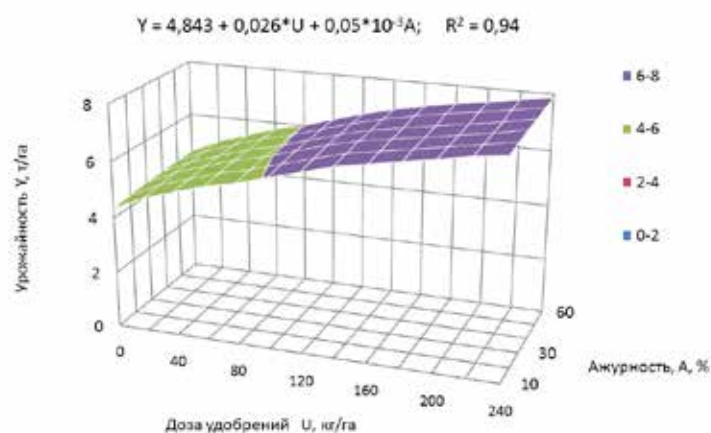


Рис. 6. Урожайность яровой пшеницы на расстоянии 5Н в зависимости от конструкции ПЗЛП, дозы удобрений и величины гидротермического коэффициента $O_z=1,81$

Заклучение

Урожайность яровой пшеницы подвержена влиянию многих природно-антропогенных факторов. Важнейшие из них выделены в результате регрессионно-корреляционного анализа взаимосвязей: ажурная конструкция и удобрения ($R^2=0,94$), гидротермический коэффициент и удобрения ($R^2=0,95$), освещенность поля культуры и расстояние от лесной полосы ($R^2=0,92$), гидротермический коэффициент и ажурность ($R^2=0,75$).

Рекомендуется формировать ПЗЛП продаваемой конструкции с главной породой дубом черешчатым и вносить дозу минеральных удобрений (N_{90}, P_{90}, K_{40}) в пределах 220 кг/га, в том числе азота в виде подкормки около 30 кг/га. Во влажные годы дозу азота можно увеличить до 100 кг/га.

Список литературы

1. Кулик К.Н., Дубенок Н.Н., Рулев А.С., Пугачева А.М. ВНИАЛМИ – лидер агролесомелиоративной науки России: современная концепция защитного лесоразведения // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2015. № 3(13). С. 108-114.
2. Барабанов А.Т., Манашков А.С., Узолин А.М., Кулик А.К. Оценка эффективности коренной мелиорации малопродуктивных земель в зоне каштановых почв Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 4. С. 45-51.
3. Proezdov P., Eskov D., Mashtakov D. and Rozanov A. Influence pattern of forest strips complex mulched par plowing in crop rotations on erosion in the Volga region steppe. Proceedings of the Ecological-Socio-Economic Systems: Models of Competition and Cooperation (ESES 2019). Atlantis Press. Paris. France. 2020. P. 319-322.
4. Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Влияние защитных лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур. Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: материалы международной научно-экологической конференции. Краснодар, 2018. С. 504-507.
5. Agrawal A., Wollenberg E., Persha L. Governing agriculture-forest landscapes to achieve climate change mitigation. Global Environmental Change. 2014. Nov. Vol. 29. P. 270-280.
6. Parihaar R.S., Bargal K. Status of an indigenous agroforestry system: A case Study in Kumaun Himalaya, India. Indian Journal of Agricultural Sciences. 2015. No 85 (3). P. 442-447.
7. Liu T.X., Zhang S.W. Agroforestry Systems in Northern Temperate Zone and Productive Perspectives. Advanced Materials Research. 2011. Vol. 304. P. 253-258.
8. Пронько В.В., Чуб М.П., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлёв Д.Ю. Отзывчивость сельскохозяйственных культур на минеральные удобрения в различных гидротермических условиях степного Поволжья // Аграрный научный журнал. 2017. № 9. С. 27-32.
9. Petukhov D.A., Ivanov A.B., Bondarenko E.V., Trubnikov A.V. and Semizorov S.A. The efficiency of the differentiated application of mineral fertilizers in the production technology of winter wheat cultivation. IOP conference series: Earth and environmental science. International scientific and practical conference «Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science». Smolensk, 2021. P. 32-42.
10. Павловский Е.С., Долгилевич М.И. Методика системных исследований агролесных ландшафтов. М.: ВАСХНИЛ, ВНИАЛМИ, 1985. 112 с.
11. Методика изучения влияния системы защитных лесных полос на микроклимат и урожайность сельскохозяйственных культур. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1973. 55 с.
12. Практикум по агрохимии / Под редакцией В.Г. Мишеева. М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2001. 689 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.