

DOI

УДК 631.41:631.432:633.11

ХАРАКТЕР И СИЛА КОРРЕЛЯЦИИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ПОЧВЕННЫМИ ФАКТОРАМИ В УСЛОВИЯХ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

А. Р. Сержанова, М. Ю. Гилязов, Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, А. И. Даминова

Реферат. Исследование проводили с целью оценки зависимости урожайности яровой мягкой пшеницы от основных агрохимических показателей и весенних запасов продуктивной влаги в метровом слое серой лесной почвы. Работу выполняли в 1982–2018 годы в Предкамской зоне Республики Татарстан. Яровую пшеницу возделывали в звене севооборота чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница. Под предшественник ежегодно вносили средние рекомендуемые нормы минеральных удобрений ($N_{40...60} P_{40...50} K_{40...60}$), непосредственно под пшеницу удобрения не вносили. Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями: содержание органического вещества – 2,8...3,2%, легкогидролизуемого азота – 100...149 мг/кг, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – 105...184 и 79...149 мг/кг соответственно, $pH_{\text{сол}}$ – 5,6...5,7. Урожайность яровой пшеницы, возделываемой без внесения удобрений, сильно варьировала по годам и изменялась в пределах от 0,99 до 2,97 т/га. Она была на 62% обусловлена влиянием обеспеченности серой лесной почвы основными питательными макроэлементами (NPK) в доступной для растений форме. Содержание легкогидролизуемого азота 150 мг/кг, подвижных форм фосфора и калия соответственно 150 и 140 мг/кг оказалось оптимальным уровнем для формирования наибольшего в опыте урожая зерна яровой пшеницы на серой лесной почве без применения удобрений.

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum*), серая лесная почва, урожайность, легкогидролизуемый азот, содержание подвижных форм фосфора и калия, продуктивная влага, корреляция.

Введение. Яровая пшеница – одна из основных продовольственных культур, которая имеет широкое распространение во многих регионах мира. В 2020 году среди зерновых культур, возделываемых в Российской Федерации, на ее посевы приходилось 35,8% общей площади [1, 2, 3]. Содержание в зерне пшеницы большого количества белка и высококачественной клейковины позволяет использовать его в хлебопечении, в крупяной и кондитерской промышленности [4, 5, 6]. К сожалению, в нашей стране урожайность этой культуры продолжает оставаться невысокой, всего около 1,2...1,4 т/га, хотя она может быть значительно выше. Урожайность культуры обусловлена генетическим потенциалом сорта, тепло-, влагообеспеченностью зоны, агротехникой, а также уровнем плодородия почвы [7, 8, 9].

Важнейшими показателями плодородия почв, определяющими величину и качество урожая яровой пшеницы, служат содержание в пахотном слое доступных форм основных макроэлементов и влагообеспеченность [10, 11, 12]. Так, в условиях вегетационного опыта коэффициент корреляции между величиной урожая яровой пшеницы и содержанием подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве составлял 0,42. В лесостепи Северного Зауралья на выщелоченном черноземе коэффициент корреляции между сбором зерна яровой пшеницы и содержанием легкогидролизуемого азота был равен 0,80 [13]. Коэффициент корреляции между урожаем яровой пшеницы и содержанием в выщелоченном легкосуглинистом черноземе лесостепной зоны Зауралья подвижного калия находилась на уровне 0,51 [14]. Обеспеченность почвы питательными элементами

оказывает влияние не только на размеры урожая, но и на его химический состав. Увеличение содержания подвижных форм фосфора в дерново-подзолистой супесчаной почве с 67...72 до 388...398 мг/кг приводило к повышению накопления этого элемента в зерне и соломе яровой пшеницы соответственно в 1,2...1,3 и 3...4 раза [15].

Цель исследования – установление характера изменения урожайности яровой пшеницы без внесения удобрений во временном ряду и тесноты корреляция уровня урожайности с обеспеченностью пахотного слоя серой лесной почвы подвижными формами азота, фосфора, калия и запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования служила яровая пшеница. Работу выполняли в 1982–2018 годы на опытном поле Казанского государственного аграрного университета, расположенном в Предкамской зоне Республики Татарстан (РТ). Яровую пшеницу возделывали в звене севооборота чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница. Под предшественник ежегодно вносили средние рекомендуемые нормы минеральных удобрений ($N_{40...60} P_{40...50} K_{40...60}$).

Почва опытного участка серая лесная среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями: содержание органического вещества – 2,8...3,2%, легкогидролизуемого азота – 100...149 мг/кг, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – 105...184 мг/кг и 79...149 мг/кг, $pH_{\text{сол}}$ – 5,6...5,7.

Климатические условия Предкамской зоны РТ в целом благоприятны для нормального ведения отрасли растениеводства. Среднегодовое количество осадков 440 мм. Сумма температур выше 10°C – 2020...2150°C.

Средняя продолжительность вегетационного периода – 160 дней. Мощность снегового покрова – 39...44 см. Климат региона определяется как умеренно прохладный.

Лабораторные анализы почвы выполняли в Центре агроэкологических исследований ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ» и ФГБУ ЦАС «Татарский»: органическое вещество – по ГОСТ 26213-91, легкогидролизуемый азот – по И. В. Тюрину и М. М. Кононовой, содержание подвижных соединений фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91,

pH солевой вытяжки – по ГОСТ 26483-85, запасы продуктивной влаги – по ГОСТ 28268-89.

Результаты и обсуждение. Урожайность зерна яровой пшеницы без внесения удобрений сильно варьировала по годам (рис. 1). За тридцатисемилетний период наблюдения она составляла от 0,99 до 2,97 т/га и имела весьма слабую тенденцию роста: коэффициент детерминации (R^2) урожайности зерна в зависимости от временного фактора составил лишь 0,0322.

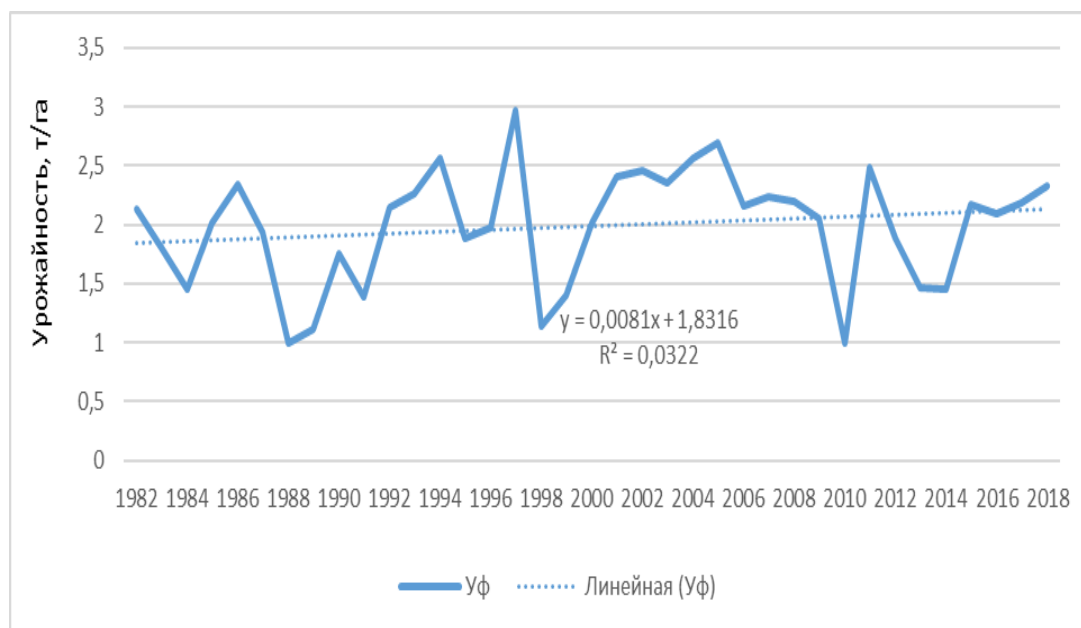


Рис. 1 - Динамика урожайности яровой пшеницы без внесения минеральных удобрений в условиях серой лесной почвы

Линии тренда содержания подвижных форм основных макроэлементов (NPK) заметно различались между собой: если для подвижных форм фосфора и калия они имели тенденцию к постоянному росту во временном ряду ($R^2=0,1907...0,1937$), то в отношении легкогидролизуемого азота такой зависимости не наблюдали (рис. 2).

Причиной роста обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия в годы исследования, возможно, служит известная способность этих питательных элементов удерживаться и накапливаться в почве при внесении удобрений (*Справочник агрохимика: под редакцией И. Д. Давлятишина / И. Д. Давлятишин, М. Ю. Глязов, А. А. Лукманов и др. Казань: ИД МеДДоК, 2013. 300 с.*), которые в нашем опыте регулярно заделывали под предшественник. Примерно такую же картину мы наблюдали в исследованиях, проведенных в северной части Предкамья РТ [16].

Содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы варьировало в пределах от 100 мг/кг (2008 г.) до 149 мг/кг (2005 г.). Об отсутствии тенденций в изменении величины этого показателя во временном ряду свидетельствует ничтожная величина коэффициента детерминации ($R^2=0,0012$).

Это указывает на то, что трансформация минерального азота, внесенного в почву в составе удобрений, коренным образом отличается от процессов, происходящих с фосфором и калием. Азот, особенно внесенный в нитратной форме, удерживается в почве только биологически и легко теряется в результате вымывания, испарения или смыва в результате водной эрозии. Даже аммонийная и амидная формы азота со временем переходят в нитратную и могут элиминироваться [17].

По мнению многих исследователей на урожайность сельскохозяйственных культур заметное влияние могут оказать запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы [18, 19, 20]. В условиях нашего эксперимента за исследуемый период величины этого показателя также были подвержены сильным изменениям по годам: если в 1986 и 1999 годы они составляли 130 мм, то в 1996 году оказались в 2,2 раза больше (286 мм) (рис. 3).

Зависимость запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы от временного фактора была весьма слабой ($R^2=0,0075$). То есть, судя по их величине в весенний период, ухудшения влагообеспеченности за исследуемый период не произошло.

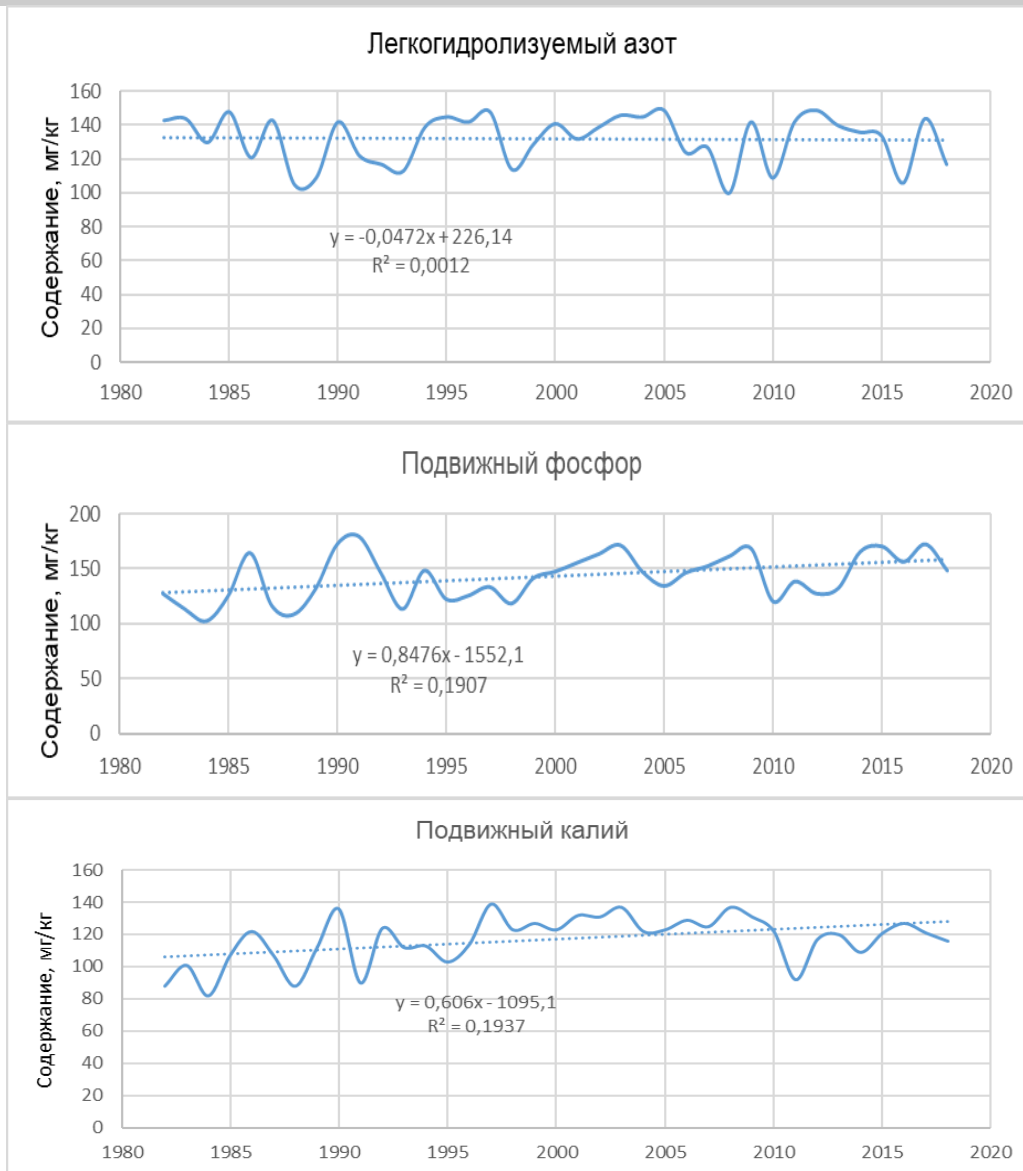


Рис. 2 - Динамика содержания подвижных форм основных макроэлементов в пахотном слое серой лесной почвы

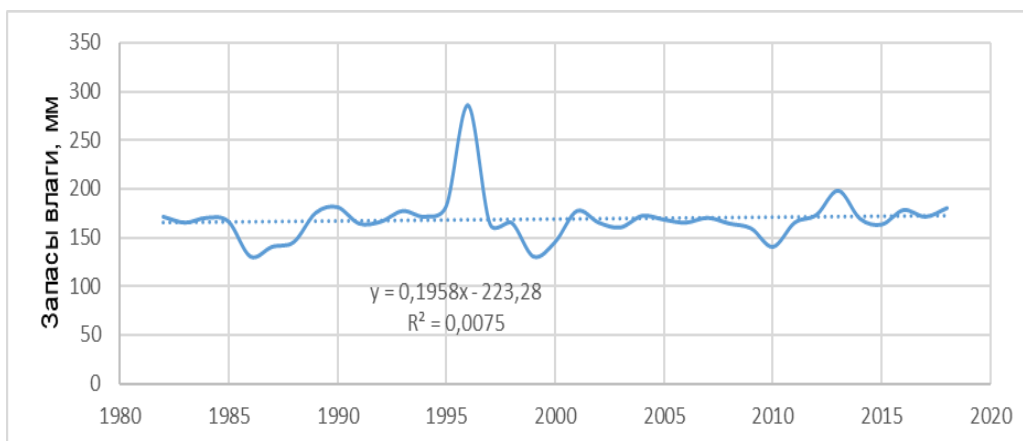


Рис. 3 - Динамика продуктивной влаги в метровом слое серой лесной почвы

Анализируя зависимость урожайности зерна яровой пшеницы от изученных почвенных факторов прежде всего следует

отметить, что действие ни одного из них не носило прямолинейного характера (рис. 4).

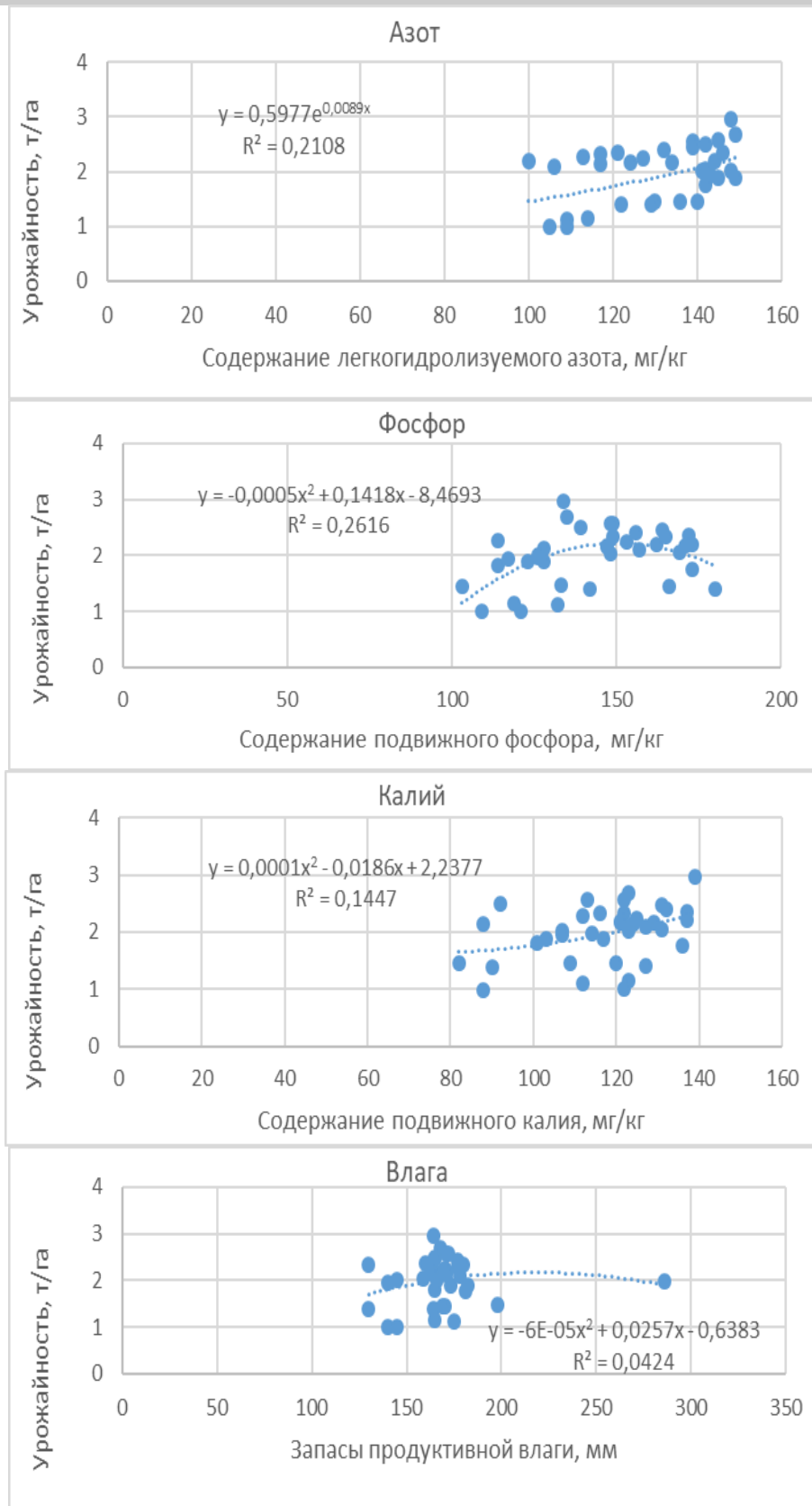


Рис. 4 - Зависимость урожайности зерна яровой пшеницы от почвенных факторов

Исходя из величин коэффициентов детерминации, можно утверждать, что для описания зависимости урожайности от почвенных факторов в трех случаях

из четырёх лучше подходило полиномиальное уравнение второй степени, и в одном случае – экспоненциальное уравнение (табл. 1 и 2).

Таблица 1 – Характер и теснота корреляции урожайности зерна яровой пшеницы и обеспеченности почвы подвижными формами NPK

Линии тренда	Уравнение	Коэффициент детерминации (R ²)
Содержание легкогидролизуемого азота, мг/кг		
Линейная	$y = 0,0146x + 0,0668$	0,1867
Логарифмическая	$y = 1,8207\ln(x) - 6,879$	0,1825
Полиномиальная*	$y = 0,0003x^2 - 0,0498x + 4,0996$	0,1948
Степенная	$y = 0,0086x^{1,1095}$	0,2079
Экспоненциальная	$y = 0,5977e^{0,0089x}$	0,2108
Содержание подвижного фосфора, мг/кг		
Линейная	$y = 0,0075x + 0,9137$	0,1035
Логарифмическая	$y = 1,1386\ln(x) - 3,6526$	0,1211
Полиномиальная*	$y = -0,0005x^2 + 0,1418x - 8,4693$	0,2616
Степенная	$y = 0,0606x^{0,6976}$	0,1395
Экспоненциальная	$y = 0,9878e^{0,0046x}$	0,1217
Содержание подвижного калия, мг/кг		
Линейная	$y = 0,0123x + 0,5499$	0,1400
Логарифмическая	$y = 1,3298\ln(x) - 4,3333$	0,1362
Полиномиальная*	$y = 0,0001x^2 - 0,0186x + 2,2377$	0,1447
Степенная	$y = 0,0594x^{0,7312}$	0,1265
Экспоненциальная	$y = 0,8745e^{0,0067x}$	0,1286

* – 2-ой степени.

Зависимость урожайности зерна яровой пшеницы от содержания легкогидролизуемого азота в пахотном слое часто используется в качестве важного критерия обеспеченности почв доступными формами азота во многих почвах, ибо продуктивность сельскохозяйственных культур достаточно тесно коррелирует с величиной этого показателя в пахотном или 0...40 см слое почвы [21, 22]. Максимальный в нашем исследовании коэффициент детерминации (R²=0,2108) для зависимости урожайности яровой пшеницы от весеннего содержания легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы отмечен в случае использования для ее описания экспоненциального уравнения (рис. 4). При этом корреляционное отношение (η) составило 0,46, что по шкале Чеддока оценивается как умеренное [23].

Наибольшее влияние на урожайность яровой пшеницы оказывало содержание в почве подвижного фосфора, о чем свидетельствует величина коэффициента детерминации (R²=0,2616). В этом случае линия тренда описывалась полиномиальным уравнением

второй степени. По сравнению с азотом и фосфором, зависимость урожая пшеницы от обеспеченности пахотного слоя почвы подвижным калием была менее значимой (R²=0,1447).

Таким образом, на неудобренной почве содержание подвижных форм всех трех основных макроэлементов оказывало заметное положительное влияние на урожайность яровой пшеницы.

Наиболее тесно урожайность коррелировала с обеспеченностью подвижным фосфором (η=0,51), чуть слабее была зависимость от содержания легкогидролизуемого азота (η=0,46) и подвижного калия (η=0,38).

В целом эти агрохимические параметры почвы играли важную роль в формировании урожайности яровой пшеницы без применения удобрений.

Максимальный в нашем исследовании сбор зерна яровой пшеницы без внесения удобрений отмечен при содержании в серой лесной почве около 150 мг/кг подвижного фосфора и легкогидролизуемого азота, а также 140 мг/кг подвижного калия (см. рис. 4).

Таблица 2 – Характер и теснота корреляции урожайности зерна яровой пшеницы с запасами продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы

Линии тренда	Уравнение	Коэффициент детерминации (R ²)
Линейная	$y = 0,0018x + 1,6789$	0,0083
Логарифмическая	$y = 0,4669\ln(x) - 0,4035$	0,0149
Полиномиальная*	$y = -6E-05x^2 + 0,0257x - 0,6383$	0,0424
Степенная	$y = 0,3351x^{0,3409}$	0,0244
Экспоненциальная	$y = 1,5079e^{0,0014x}$	0,0156

* - 2-ой степени.

В отличие от агрохимических показателей почвы, весенние запасы продуктивной влаги оказывали слабое влияние ($\eta=0,21$) на урожайность яровой пшеницы. Это обстоятельство свидетельствует о том, что наличие продуктивной влаги в слое почвы 0...100 см было достаточным для образования полноценных дружных всходов и первоначального роста и развития, а на дальнейших этапах органогенеза растений яровой пшеницы основную роль играли атмосферные осадки, выпавшие во время вегетации.

В целом изученные почвенные факторы по значимости влияния на урожайность яровой пшеницы можно расположить в следующий ряд в порядке убывания: содержание подвижного фосфора > содержание легкогидролизуемого азота > содержание подвижного калия >

запасы продуктивной влаги в день посева.

Выводы. Во временном ряду 37 лет урожайность яровой пшеницы на неудобренной серой лесной почве варьировала от 0,99 до 2,97 т/га и имела очень слабую тенденцию роста. Линии тренда содержания подвижных форм фосфора и калия имело тенденцию к постоянному росту во временном ряду ($R^2=0,1907...0,1937$), в отношении содержания легкогидролизуемого азота и запасов продуктивной влаги при посеве таких трендов не обнаруживали. Изученные почвенные факторы по значимости влияния на урожайность яровой пшеницы можно расположить в следующий убывающий ряд: содержание подвижного фосфора > содержание легкогидролизуемого азота > содержание подвижного калия > запасы продуктивной влаги.

Литература

1. Медведева А. Производство зерна в России 2020: структура посевных площадей и урожайность. URL: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozjaistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploschadei-i-urozhainost.html> (дата обращения: 25.02.2022).
2. Мадякин, Е. В. Исследования по адаптивности сортов яровой пшеницы в Поволжье / Е. В. Мадякин, О. И. Горянин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1(61). – С. 40-45. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-40-45.
3. Сапега, В. А. Урожайность и адаптивность сортов яровой пшеницы различных групп спелости в условиях лесостепи Северного Зауралья / В. А. Сапега, Г. Ш. Турсумбекова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 3(64). – С. 67-75. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.
4. Агробиологические основы формирования высококачественного урожая зерна видов яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья / М. Ф. Амиров, Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № S4-1(55). С. 5–9.
5. Мукомольные свойства зерна сортов и перспективных сортообразцов твердой озимой и яровой пшеницы / Р.Х. Кандроков, М.Ш. Бегаулов, В.Н. Игонин и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 1. С. 66-71.
6. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г., Чахеева Т.В. Качество клейковины сортов твердой пшеницы сарматской селекции и сортов из Италии и Австралии // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 25-30.
7. Шаповалова Н.Н., Менькина Е.А., Ахмедшина Д.А. Диагностические показатели обеспеченности почвы элементами питания для формирования высокой урожайности озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 5. С. 5-10.
8. Технологии основной обработки почвы, повышающие эффективное плодородие и биологическую активность почвы / Ю. Ф. Курдюков, З. М. Азизов, В. В. Архипов и др. // Аграрный вестник Юго-Востока. 2018. № 3 (20). С. 37–41.
9. Розова М.А., Зиборов А.И., Егизарян Е.Е. Связь температурных показателей периода вегетации с основными агрономически значимыми характеристиками сортов яровой твердой пшеницы на Алтае // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 9-15.
10. Edmeades D. C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2003. Vol. 66. No. 2. P. 165–180.
11. Муратов М. Р., Гилязов М. Ю. Корреляция урожайности зерновых и зернобобовых культур от агрохимических параметров почв и погодных условий // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 2 (36). С. 128–135.
12. Влияние удобрений и погодных условий на формирование урожая яровой пшеницы на осушаемых землях / Л.И. Петрова, Ю.И. Митрофанов, Н.К. Первушина и др. // Земледелие. 2020. № 4. С. 12-15.
13. Еремин Д. И., Демина О. Н. Влияние минеральных удобрений на содержание легкогидролизуемого азота и нитрификационную способность пахотного чернозема в лесостепи Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 26–32.
14. Плотников А. М. Зависимость урожайности зерновых культур от содержания в почве доступных форм фосфора и калия // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 1. С. 17–20.
15. Микулич В. А. Состав и вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы при различной обеспеченности фосфором дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 1 (46). С. 135–145.
16. Гилязов М. Ю., Лукманов А. А., Муратов М. Р. Длительное применение удобрений и продуктивность пашни. Казань: Изд-во Казанского университета, 2016. 220 с.
17. Alvarez R. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage // Soil Use and Management. 2005. Vol. 21. No. 1. P. 38–52.
18. Павлова В. Н., Каланка П., Караченкова А. А. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 78–94.
19. Запасы продуктивной влаги по природно-почвенным зонам Алтайского края и их влияние

на урожайность яровой пшеницы / Н. Б. Максимова, С. Б. Тарасова, Г. Г. Морковкин и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (162). С. 87–92.

20. Противозероэрозийная мелиорация в Республике Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 2 (66). – С. 47-54. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-45-52.

21. Гамзиков Г. П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах // Плодородие. 2018. № 1(100). С. 8–14.

22. Гуреев, И. И. Цифровая оптимизация питания сельскохозяйственных культур с использованием функциональной листовой диагностики / И. И. Гуреев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1(61). – С. 6-13. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-6-13.

23. Орлов А. И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии // Научный журнал КубГАУ. 2020. №160 (06). С. 130–162.

Сведения об авторах:

Сержанова Альбина Рафаиловна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: serzhanovaalbina@mail.ru

Гилязов Миннегали Юсупович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения, e-mail: agro-pochvo@mail.ru

Шайхутдинов Фарит Шарипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: faritshay@kazgau.com

Сержанов Игорь Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: igor.serzhanov@kazan.com

Даминова Аниса Илдаровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биотехнологии, животноводства и химии, e-mail: danis14@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

THE NATURE AND STRENGTH OF THE CORRELATION OF SPRING WHEAT YIELD WITH SOIL FACTORS IN CONDITIONS OF GRAY FOREST SOIL

A. R. Serzhanova, M. Yu. Gilyazov, F. Sh. Shaykhutdinov, I. M. Serzhanov, A. I. Daminova

Abstract. The study was carried out in order to assess the dependence of the yield of spring soft wheat on the main agrochemical indicators and spring reserves of productive moisture in a meter layer of gray forest soil. The work was carried out in 1982-2018 in Kama zone of the Republic of Tatarstan. Spring wheat was cultivated in the crop rotation link pure fallow - winter rye - spring wheat. Average recommended norms of mineral fertilizers (N_{40...60}P_{40...50}K_{40...60}) were annually applied under the predecessor; fertilizers were not applied directly under wheat. The soil of the experimental plot is gray forest medium loamy with the following agrochemical parameters: content of organic matter - 2.8...3.2%, readily hydrolysable nitrogen - 100...149 mg/kg, mobile phosphorus and potassium (according to Kirsanov) - 105...184 and 79...149 mg/kg, respectively, pH_{soil} - 5.6...5.7. The yield of spring wheat cultivated without fertilization varied greatly from year to year and ranged from 0.99 to 2.97 t/ha. It was 62% due to the influence of the provision of gray forest soil with the main nutrient macronutrients (NPK) in a form available to plants. The content of easily hydrolysable nitrogen 150 mg/kg, mobile forms of phosphorus and potassium 150 and 140 mg/kg, respectively, turned out to be the optimal level for the formation of the largest spring wheat grain crop in the experiment on gray forest soil without the use of fertilizers.

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum*), gray forest soil, productivity, readily hydrolysable nitrogen, content of mobile forms of phosphorus and potassium, productive moisture, correlation.

References

1. Medvedeva A. Grain production in Russia 2020: the structure of sown areas and productivity. [cited 2022, February 25]. Available from: <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskhozjaistvennyh-tovarov/proizvodstvo-zerna-v-rossii-2020-struktura-posevnyh-ploschadei-i-urozhainost.html>.

2. Madyakin EV, Goryanin OI. [Studies on the adaptability of spring wheat varieties in the Volga region]. Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2023; 1(61). 40-45 p. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-40-45.

3. Sapega VA, Tursumbekova GSh. [Productivity and adaptability of spring wheat varieties of various ripeness groups in the conditions of the forest-steppe of the Northern Trans-Urals]. Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet). 2022; 3(64). 67-75 p. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-64-3-67-75.

4. Amirov MF, Shaykhutdinov FSh, Serzhanov IM. [Agrobiological foundations for the formation of a high-quality grain crop of spring wheat species in the forest-steppe of Middle Volga region]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 4-1(55). 5-9 p.

5. Kandrov RKh, Begeulov MSh, Igonin VN. [Flour-grinding properties of grain varieties and promising varieties of durum winter and spring wheat]. Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2020; 1. 66-71 p.

6. Mal'chikov PN, Myasnikova MG, Chakheeva TV. [The quality of gluten in durum wheat varieties of Samara breeding and varieties from Italy and Australia]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021; Vol.35. 9. 25-30 p.

7. Shapovalova NN, Men'kina EA, Akhmedshina DA. [Diagnostic indicators of soil supply with nutrients for the formation of high yields of winter wheat]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol.36. 5. 5-10 p.

8. Kurdyukov YuF, Azizov ZM, Arkhipov VV. [Technologies of basic tillage that increase the effective fertility and biological activity of the soil]. Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka. 2018; 3 (20). 37-41 p.

9. Rozova MA, Ziborov AI, Egiazyaryan EE. [Relationship of temperature indicators of the growing season with the main agronomically significant characteristics of spring durum wheat varieties in Altai]. Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2021; 5. 9-15 p.

10. Edmeades DC. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. Nutrient cycling in agroecosystems. 2003; Vol.66. 2. 165-180 p.

11. Muratov MR, Gilyazov MYu. [Correlation of grain and leguminous crops productivity from agrochemical parameters of soils and weather conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; Vol.10. 2 (36). 128-135 p.

12. Petrova LI, Mitrofanov YuI, Pervushina NK. [Influence of fertilizers and weather conditions on the formation of spring wheat yield on drained lands]. Zemledelie. 2020; 4. 12-15 p.

13. Eremin DI, Demina ON. [Influence of mineral fertilizers on the content of easily hydrolysable nitrogen and

- nitrification capacity of arable chernozem in the forest-steppe of the Urals]. Vestnik KrasGAU. 2021; 2. 26-32 p.
14. Plotnikov AM. [Dependence of the yield of grain crops productivity on the content of available forms of phosphorus and potassium in the soil]. Vestnik Kurganskoi GSKhA. 2019; 1. 17-20 p.
15. Mikulich VA. [Composition and removal of nutrients in spring wheat crops at different levels of phosphorus supply in soddy-podzolic sandy loamy soil]. Pochvovedenie i agrokhimiya. 2011; 1 (46). 135-145 p.
16. Gilyazov MYu, Lukmanov AA, Muratov MR. Dlitel'noe primeneniye udobreniy i produktivnost' pashni. [Long-term use of fertilizers and arable land productivity]. Kazan': Izd-vo Kazanskogo universiteta. 2016; 220 p.
17. Alvarez RA Review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. Soil use and management. 2005; Vol.21. 1. 38-52 p.
18. Pavlova VN, Kalanka P, Karachenkova AA. [Productivity of grain crops on the territory of European Russia under climate change over the past decades]. Meteorologiya i gidrologiya. 2020; 1. 78-94 p.
19. Maksimova NB, Tarasova SB, Morkovkin GG. [Reserves of productive moisture in the natural soil zones of Altai Territory and their influence on spring wheat productivity]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; 4 (162). 87-92 p.
20. Hismatullin MM, Valiev AR, Hismatullin MM. [Anti-erosion land reclamation in the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 2(66). 47-54 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2022-45-52.
21. Gamzikov GP. [Soil diagnostics of nitrogen nutrition of plants and the use of nitrogen fertilizers in crop rotations]. Plodorodie. 2018; 1(100). 8-14 p.
22. Gureev II. [Digital optimization of nutrition of agricultural crops using functional leaf diagnostics]. Vestnik Ul'yanskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyaistvennoj akademii. 2023; 1(61). 6-13 p. – DOI 10.18286/1816-4501-2023-1-6-13.
23. Orlov AI. [Probabilistic-statistical models of correlation and regression]. Nauchnyi zhurnal KubGAU. 2020; 160 (06). 130-162 p.

Authors:

Serzhanova Albina Rafailevna – Ph.D. of Agricultural sciences, Associate Professor of Agrochemistry and Soil science Department, e-mail: serzhanovaalbina@mail.ru
 Gilyazov Minnegali Yusupovich - Doctor of Agricultural sciences, Professor of Agrochemistry and Soil science Department, e-mail: agro-pochvo@mail.ru
 Shaykhutdinov Farit Sharipovich - Doctor of Agricultural sciences, Professor of Plant growing and Horticulture Department, e-mail: faritshay@kazgau.com
 Serzhanov Igor Mikhaylovich – Doctor of Agricultural sciences, Professor of Crop and Horticulture Department, e-mail: igor.serzhanov@kazan.com
 Daminova Anisa Ildarovna – Ph.D. of Agricultural sciences, Associate Professor of Biotechnology, Animal Husbandry and Chemistry Department, e-mail: danis14@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.