

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-4-1199

EDN: IQFJHQ

УДК 631.6:633.11



Научная статья

РОЛЬ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ *TRITICUM* *AESTIVUM* (РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ)

А.М. Пугачёва

Аннотация

Обоснование. Несмотря на доказанный факт влияния лесомелиоративных систем на повышение урожайности отдельных сельскохозяйственных культур на конкретных объектах исследований, открытым остается вопрос достоверности участия фактора лесистости в урожайности, среди множества иных факторов влияния. В работе впервые представлены результаты исследований по влиянию комплекса факторов: лесистости объектов исследований (районов Волгоградской области) в виде площадей защитных лесных насаждений (ЗЛН), почвенного плодородия (гумус) и осадков на урожайность озимой пшеницы, основной зерновой культуры засушливых территорий.

Материалы и методы исследования. Оптимальный показатель лесистости земель сельскохозяйственного назначения, принятый в исследовании, составляет 1.5%. Применена методика расчета лесистости территорий земель относящихся к иным категориям. По объектам исследований построены и проанализированы длительные временные ряды (50 лет) урожайности озимой пшеницы и осадков. Методология проведения статистического анализа включает множественную регрессию, анализ коэффициентов парной, частной и множественной корреляции, а также их надежность и значимость.

Результаты. Данными за период с 1973 по 2022 гг. подтверждены зональные различия в урожайности изучаемой сельскохозяйственной культуры, что доказывает неизменное влияние почвенно-климатических условий на сельскохозяйственное производство в изменяющихся условиях климата. Выявлена достоверная корреляционная зависимость средней степени между урожайностью и площадями ЗЛН – 0.51, подтвержденная t критерием 1.86 при α 0.10. Сильная связь выявлена между урожайностью и почвенным плодородием (гумус) и урожайностью и количеством осадков – 0.85; 0.86. t критерий – 5.1 при

α 0.01 (0.99). Расчет влияния комплекса факторов на показатели урожайности проведен методом множественной регрессии. Полученный в регрессионной модели коэффициент детерминации $R^2=0.824$ свидетельствует, что 82.4% вариаций в урожайности объясняются исследуемыми факторами. Остальные проценты приходятся на неучтенные факторы. Полученные р-значения изучаемых факторов - почвенного плодородия (гумус) 0.18 и осадков 0.40, являются статистически значимыми при уровне значимости α 0.10.

Заключение. Данное исследование свидетельствует о наличии достоверного вклада ЗЛН в продуктивность земель сельскохозяйственного назначения, представленную урожайностью озимой пшеницы. Подтверждается необходимость создания искусственных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения и доведения их площадей до оптимальных значений, с целью более эффективного функционирования земель сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: агролесомелиоративные системы; защитные лесные насаждения; лесистость; урожайность; озимая пшеница; почвенное плодородие; гумус; осадки

Для цитирования. Пугачёва, А. М. (2025). Роль агролесомелиоративных систем в формировании урожайности *Triticum aestivum* (региональный уровень). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(4), 124-154. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-4-1199>

Original article

THE ROLE OF AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE PRODUCTION OF *TRITICUM AESTIVUM* (REGIONAL LEVEL)

A.M. Pugacheva

Abstract

Background. Despite the proven effect of forest reclamation systems on increasing the yield of individual crops at specific research sites, the question of the reliability of the participation of the forest cover factor in yield, among many other influencing factors, remains open. The paper presents for the first time the results of research on the influence of a complex of factors: the forest cover of research facilities (districts of the Volgograd region) in the form of areas of protective forest plantations, soil fertility (humus) and precipitation on the yield of winter wheat, the main grain crop of arid territories.

Materials and methods. The optimal indicator of the forest cover of agricultural land, adopted in the study, is 1.5%. A methodology for calculating the forest cover of territories belonging to other categories has been applied. Long-term time series (50 years) have been constructed and analyzed for the objects of research winter wheat yields and precipitation. The methodology of statistical analysis includes multiple regression, analysis of the coefficients of paired, partial and multiple correlations, as well as their reliability and significance.

Results. Data for the period from 1973 to 2022 confirmed the zonal differences in the yield of the crop under study, which proves the constant influence of soil and climatic conditions on agricultural production in changing climate conditions. A reliable correlation of the average degree between the yield and the areas of protective forest plantations was revealed and it amounted to 0.51, It was confirmed by t-criterion of 1.86 at α 0.10. A strong connection was found between yield and soil fertility (humus), yield and rainfall – 0.85; 0.86. T- criterion amounted to 5.1 at α 0.01 (0.99). The impact of the complex of factors on yield indicators was calculated by multiple regression. The coefficient of determination $R^2 = 0.824$ obtained in the regression model indicates that 82.4% of variations in yield are explained by the studied factors. The remaining percentages are considered to be unaccounted factors. The obtained p-values of the studied factors as soil fertility (humus) of 0.18 and precipitation of 0.40 are statistically important at a significance level of α 0.10.

Conclusion. This study indicates that there is a significant contribution of grain to the productivity of agricultural land, represented by the yield of fall wheat. There is a need to create artificial plantations on agricultural lands and bring their areas to optimal forest cover indicators in order the agricultural industry to function more effectively.

Keywords: agroforestry systems; protective forest plantations; forest cover; yield; fall wheat; soil fertility; humus; precipitation

For citation. Pugacheva, A. M. (2025). The role of agroforestry systems in the production of *Triticum aestivum* (regional level). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(4), 124-154. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-4-1199>

Введение

Составной частью экологически сбалансированных ландшафтов, включая земли сельскохозяйственного назначения, является облесение территорий. Лесистость земель, выраженная в процентах, считается важным статистическим показателем и характеризует природные богатства Российской Федерации. Показатель лесистости выступает также показателем состояния современных агролесоландшафтов регионального уров-

ня [<http://www.gks.ru>]. По данным Макап С.В., устойчивое региональное развитие тесно связано с лесным потенциалом земель. Данный показатель является важной составляющей любого регионального пространства вне зависимости от показателя лесистости его территории [16]. По исследованиям Архиповой М.В. за длительный период с конца XIX до конца XX века на территории Среднерусской возвышенности наблюдается увеличение показателя лесистости в северной части и его уменьшение в южной [46].

Значимость показателя лесистость является общепризнанной и доказанной. Его необходимые процентные значения для устойчивого функционирования территорий в разных природных зонах и регионах до настоящего времени остаются вопросом дискуссионным. Каждый подход в определении оптимальных значений имеет свою индивидуальность и зависит от задач, стоящих в том числе перед аграрным сектором с целью достижения высокой продуктивности аграрного производства [17; 18]. С этим связана разница в единицах необходимых показателей лесистости. По мнению Молчанова А.А., в малолесных районах, где в настоящее время 70% площади занято полями и пастбищами, лесистость должна составлять 25-30% [17, с. 6]. В Стратегиях защитного лесоразведения Российской Федерации и Волгоградской области указан показатель оптимальной лесистости земель сельскохозяйственного назначения, составляющий 1,5% [41; 42]. В одной из исследовательских работ Тубалова А.А., с помощью применения метода картографического моделирования на примере Волгоградского региона данный показатель определен в 3% [58]. Несмотря на имеющиеся общие подходы агролесомелиоративного обустройства земель в Европейских странах и в Российской Федерации, имеются различия. Из схожих практик можно назвать прибрежные буферные полосы и противоэрозионные насаждения, которые в Российской Федерации считаются традиционными, продолжая успешно создаваться в настоящее время. Имеющиеся различия, например, касаются принадлежности агролесомелиоративных насаждений в России к землям сельскохозяйственного назначения. Применяемые в Европе практики лесоводства в лесных массивах к агролесомелиорации в России не относятся. Среди развивающихся европейских практик агролесомелиорации можно назвать так называемые аллейные насаждения, то есть чередующиеся на пашне древесные и сельскохозяйственные культуры [49; 59; 62]. Данные системы завоевывают в Европе все большие площади и имеет доказанный эффект повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Максимальный эффект

проявляется до определенного возраста и высоты древесных насаждений [64]. Практика аллейных насаждений в Российской Федерации представлена в виде придорожных насаждений, оказывающих противозерозионные функции. Системы агролесомелиорации в Европе имеют многовековую практику: *Dehesas* в Испании, *Montado* в Португалии, оливковые рощи, *Streuobst* (фруктовые сады), живые изгороди и буреломы [50; 54]. В связи с общей интенсификацией сельскохозяйственного производства, связанной с распахкой земель, старые практики постепенно исчезают [48; 53; 54; 63]. На их место приходят новые, предоставляющие возможности по числу экосистемных услуг с единицы площади (депонирование углерода, повышение плодородия, борьба с эрозией, восстановление биоразнообразия, борьба с опустыниванием и других) [15; 45; 52; 55; 61; 62; 65]. В Российской Федерации виды агролесомелиоративных практик остаются неизменными.

Доказанное влияние лесных насаждений на прилегающие территории, помимо множества положительных экологических (природных) эффектов: снижение скорости ветра, улучшение микроклимата на междолевых пространствах и других, оказывают влияние на увеличение урожайности сельскохозяйственных культур [1; 9; 22; 51; 14; 24; 31; 32]. В одной из опубликованных работ создание на землях сельскохозяйственного назначения завершенных агролесомелиоративных систем или комплексов, рассматривается как резервное направление развития отрасли растениеводства [25]. Доказанным фактом является то что положительное влияние на прилегающие территории оказывают агролесомелиоративные системы, а не отдельные полосы защитных насаждений. Эти насаждения размещаются по периметру сельскохозяйственных полей, либо в виде групп насаждений носящих локальный характер. При этом агролесомелиоративной наукой при изучении влияния насаждений на урожайность сельскохозяйственных культур рассматриваются преимущественно полезащитные насаждения [23]. О положительной роли полезащитных лесных полос на урожайность различных сельскохозяйственных культур в начале XX века указал Логгинов В.В. [20]. Изучая влияние полезащитных лесных полос на урожайность зерновых культур, он заявлял о повышении урожайности на 25%. Научные исследования современного периода по данному направлению являются фрагментарными, носят преимущественно региональный характер, представляя результаты исследований по изучению конкретных полей севооборотов, отдельных сельскохозяйственных культур и ряда физиологических по-

казателей. Из последних, можно выделить работы, в которых рассматривается влияние полезащитных лесных насаждений на урожайность и физиологические процессы целого ряда культур: подсолнечник, озимая и яровая пшеницы, кукуруза и другие [21; 27; 28; 29; 30; 32; 36; 37; 47]. Разработанные патенты, достоверно доказывают положительное влияние искусственных насаждений на этапы продукционного процесса и как следствие на урожайность в целом [40; 33; 35; 43]. Несмотря на доказанный факт влияния лесомелиоративных систем на повышение урожайности отдельных сельскохозяйственных культур на конкретных объектах исследований, открытым остается вопрос достоверности участия фактора лесистости в урожайности, среди множества иных факторов влияния. Новизна исследований заключается в комплексном подходе к оценке влияния ряда факторов на урожайность озимой пшеницы, а также в перечне самих факторов, одним из которых является лесистость территорий в виде имеющихся площадей искусственных насаждений.

Целью данной работы является определение достоверности вклада фактора лесистость в урожайность озимой пшеницы, основной продовольственной культуры засушливых регионов, на примере Волгоградской области. Задачами исследования являлось: определить за 50-ти летний период среднюю урожайность озимой пшеницы по районам Волгоградской области, определить среднюю урожайность по зонам, определить за 50-ти летний период показатель влагообеспеченности по районам области и по зонам, провести многофакторный анализ с выявлением общего вклада факторов лесистость, почвенное плодородие, влагообеспеченность в урожайность озимой пшеницы. Определить наличие или отсутствие достоверного вклада показателя лесистости территорий в урожайность озимой пшеницы.

Объекты и методика

Описание объектов исследований с представлением почвенно-климатических зон

Волгоградская область выбрана объектом исследований, так как она является аграрным регионом, представляет собой комплекс контрастных природных зон отличающихся индивидуальными характеристиками почв, климатических показателей, в нашем исследовании представленных осадками (табл. 1). В регионе выражена широтная зональность [38]. В данной работе зональное деление представлено по Овчинникову А.С. [19].

Таблица 1.

Почвенно-климатическая характеристика зон Волгоградской области

№ п/п	Зона	Тип почв	Содержание гумуса,*	S насаждений на пашне, тыс. га**	Осадки (ср. много-летняя)***
1.	Настоящая степь	черноземный	5.1	28 390.1	445
2.	Сухая степь	темно-каштановый	4.7	35 353.3	364
		каштановый	2.7		
3.	Полупустыня	светло-каштановый	3.5	5 728.1	329

Примечание: *- содержание гумуса представлено в горизонте A_1 (среднее $A_1 + A_{1a}$) по данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [ЕГРПР, <https://egrpr.esoil.ru>].

** - по данным инвентаризации 2015 года [34, 56]

*** - среднее за 50-летний период с 1973-2021 гг. [2]

Пространственная уникальность территории Волгоградской области заключается в специфичном гидротермическом режиме природной среды и сложных условиях почвообразования [39]. Это обусловило формирование на территории большого количества типов (15), подтипов и разновидностей (около 3000) почв [10]. Увеличение аридности и континентальности климата в юго-восточном направлении области объясняется проходящим по территории атмосферным фронтом, на стыке полярного и тропического воздуха. Погодно-климатическая изменчивость и контрастность проявляется во всех компонентах ландшафтов: растительности, почвенном покрове, степени его засоленности, типе водного режима почвогрунтов и даже глубине залегания грунтовых вод. Уникальность и контрастность также относится к геологии и рельефу исследуемого региона.

Существующие лесомелиоративные системы Волгоградской области

Расчеты площадей насаждений по районам области, их видам представлены по почвенно-климатическим зонам – настоящая степь, сухая степь и полупустыня. Общая площадь сельскохозяйственных земель, охваченная данным исследованием, составляет 7 млн. 238 тыс. га, площадь пашни – 4 млн. 696 тыс. га (<https://rosstat.gov.ru>). Площадь пашни по зонам распределена следующим образом: настоящая степь – 1 млн. 769 тыс. га; сухая степь – 2 млн. 657 тыс. га; полупустыня – 270 тыс. га.

В данной работе лесомелиоративные системы представлены зональными типами. За основу взята классификация оптимальных лесомелио-

ративных систем (ОЛС) разработанная Васильевым М.Е. для сухой степи Казахстана и Алтайского края, так как условия данных территорий схожи с условиями Волгоградского региона [3]. Сформированное автором понятие характеризует ОЛС как комплекс мелиоративно взаимосвязанных лесных полос разного назначения и уровня, обладающих в конкретных физико-географических условиях мелиоративно-защитным эффектом и наиболее высокой биологической устойчивостью. По данной классификации зональные системы включают группу административных районов одной географической области с типичными признаками, в которых рельеф, почвы, агропроизводственные и другие особенности соединяются в одну агролесомелиоративную подзону или зону, занимая площадь более 1 млн. га.

Схема создания полеззащитных насаждений в регионе преимущественно 4-х рядная, два внутренних ряда главные породы, два крайних ряда сопутствующие. В насаждениях преимущественно используются следующие породы деревьев и кустарников (таблица 2), адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона и рекомендованных для ЗЛН [41].

Таблица 2.

**Породный и видовой состав главных и сопутствующих
древесных и кустарниковых растений в защитных лесных насаждениях
Волгоградской области (по зонам)**

№ п/п	Зона	Главные	Сопутствующие	
			древесные	кустарники
1.	Настоящая степь	<i>Quercus</i> L., <i>Betula</i> L., <i>Fraxinus</i> L., <i>Pinus</i> L. (на песках)	<i>Acer platanoides</i> L., <i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Pyrus</i> L., <i>Malus</i> Hill.	<i>Ribes aureum</i> Pursh, <i>Ribes nigrum</i> L., <i>Lonicera</i> , <i>Corylus avellana</i> L.
2.	Сухая степь	<i>Ulmus pumila</i> L., <i>Quercus robur</i> L., <i>Robinia pseudoacacia</i> L., <i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	<i>Acer tataricum</i> L., <i>Pyrus</i> L.	<i>Ribes aureum</i> Pursh, <i>Lonicera</i> L., <i>Tamarix</i> L.
3.	Полупустыня	<i>Ulmus</i> L., <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Acer tataricum</i> L., <i>Morus alba</i> L.	<i>Ribes aureum</i> , Pursh, <i>Elaeagnus angustifolia</i> L., <i>Tamarix</i> L.

Расчеты существующих искусственных лесных насаждений проведены по данным инвентаризации 2015 года предоставленных Комитетом природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области [34; 56].

Агролесомелиоративные системы (АЛС) Волгоградского региона включают следующие виды насаждений: полезащитные лесные насаждения (ветрорегулирующие, стокорегулирующие); противозерозийные насаждения (прибалочные и приовражные); придорожные. При расчете лесистости пашни использовались показатели имеющихся полезащитных и противозерозийных насаждений (ПЗЛН), размещенных на пашне. Расчет земель сельскохозяйственного назначения, включая пашню на предмет их лесистости, опубликован в более ранней работе автора [56]. Общая лесистость земель пашни Волгоградского региона составляет – 1.3 %. По зонам распределение следующее: настоящая степь – 1.4 %; сухая степь – 1.3 %; полупустыня – 1.4 %.

В соответствии с научно-обоснованными нормами размещения лесомелиоративных систем, защитные насаждения должны занимать 1.5-3% общей площади земель сельскохозяйственного назначения в зависимости от агроклиматических, геоморфологических условий, степени расчлененности и эродированности земель [42]. На легких песчаных почвах и склонах крутизной более 5°, площадь отвода земель под данный вид насаждений увеличивается до 5-7%.

Расчет лесистости земель сельскохозяйственного назначения и земель пашни как в целом по субъекту, так и по административным районам проводился по Методике расчета показателя «Лесистость территории Российской Федерации» Приказ Рослесхоза № 650 от 06.05.2022 года (<https://legalacts.ru>). В соответствии с пунктом 9.3 «расчет показателя осуществляется по землям лесного фонда и землям иных категорий, на которых расположены леса», по следующей формуле:

$$Лтер = (Sплрз / Sсуб.) \times 100 \quad (1)$$

где: $L_{тер}$ - лесистость территории субъекта, процент (%);

$S_{плрз}$ - площадь покрытых лесной растительностью земель сельскохозяйственного назначения субъекта, тысяча га;

$S_{суб.}$ - площадь субъекта, тысяча га.

Статистика региональных показателей сельскохозяйственной деятельности представлена по данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru>).

Математическая обработка данных была проведена методами корреляций, множественной регрессии, критерием Фишера. Достоверность определена по t критерию. Для визуализации результатов в виде диаграмм и графиков использована программа Excel.

Методологический подход к расчету доли влияния изучаемых факторов на урожайность озимой пшеницы на территории Волгоградской области

Объектами исследований являлись 12 районов области, лесистость земель сельскохозяйственного назначения которых равна либо выше 1.5 %,

представлено на рисунке 1. В данном исследовании, этот показатель лесистости признан оптимальным.

В исследованиях также использовались показатели урожайности озимой пшеницы среднее по объектам исследований за 50-ти летний период, гумуса (%), влагообеспеченности (среднее количество осадков по объектам исследований за 50-ти летний период). Осадки рассчитывались по данным зарегистрированных в сети Росгидромет метеостанций Волгоградской области [2].

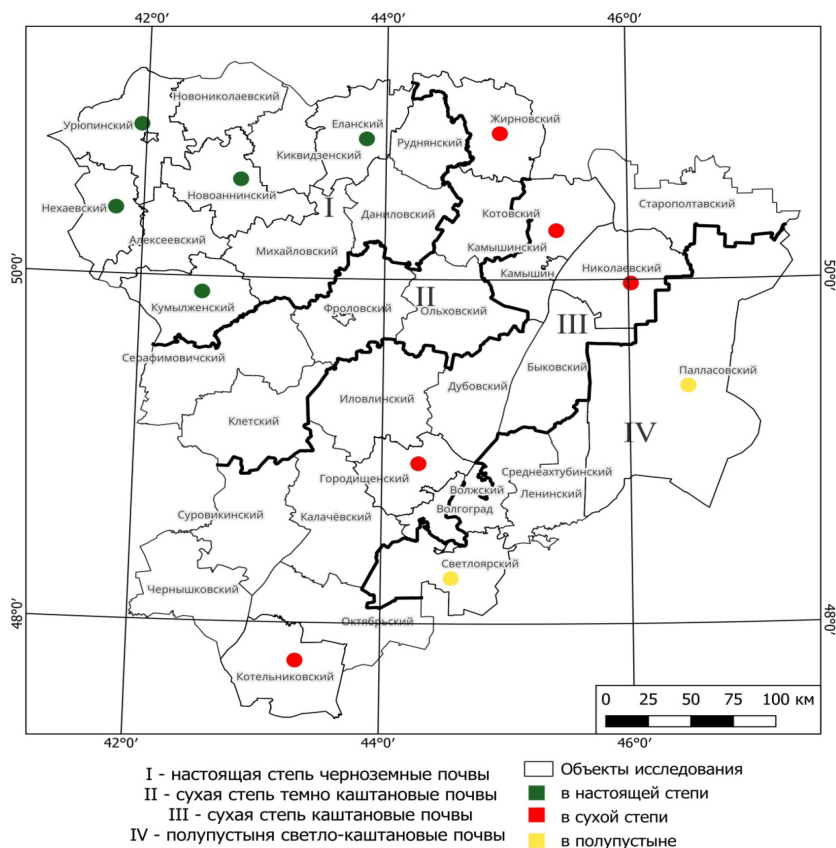


Рис. 1. Карта объектов исследований (районов). Объекты в настоящей степи обозначены зелеными кружками, в сухой степи красными, в полупустыне желтыми. Горизонтальные линии показывают нижние границы существующих зон по Овчинникову А.С. [19].

Методология статистического анализа включала решение следующих задач:

Построение линейной модели на основе уравнения множественной регрессии. На основе стандартизованных коэффициентов регрессии и средних коэффициентов эластичности проведение ранжирования факторов по степени их влияния на урожайность. Проведение поиска и анализа коэффициентов парной, частной и множественной корреляции. С помощью F-критерия Фишера проведение оценки статистической надежности уравнения регрессии и коэффициента детерминации R^2 . Применением критерия Стьюдента оценка статистическая значимость коэффициентов чистой регрессии.

Результаты

Проведена обработка данных урожайности за 50-ти летний период по объектам исследований, построены длительные временные ряды. Выполнен анализ показателей, он подтвердил их зональные различия. На рисунке 2 представлены индивидуальные особенности урожайности озимой пшеницы по зонам в сравнении со средней урожайностью по области. Это объясняется зональными особенностями территорий объектов исследований: показателями плодородия, количеством выпадающих осадков, представленными в табл. 1.

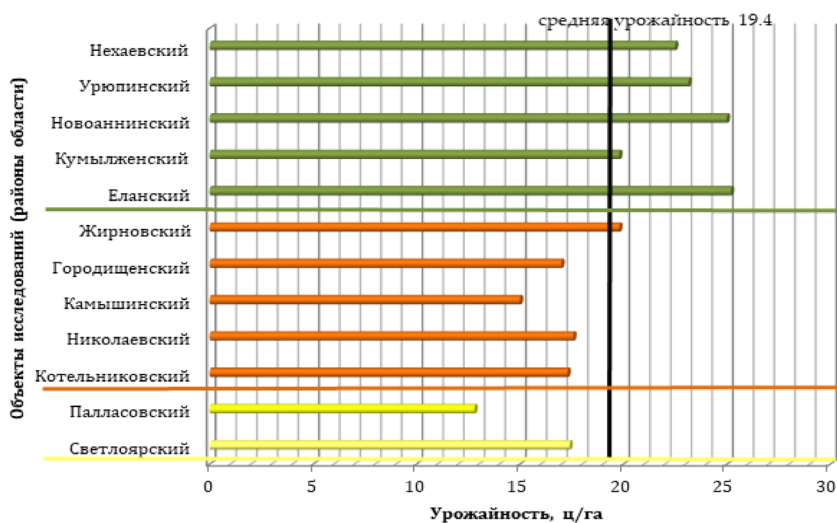


Рис. 2. Средняя урожайность озимой пшеницы на объектах исследований по зонам области (1973–2022 гг). Цветовые обозначения: зеленый цвет – настоящая степь; оранжевый цвет – сухая степь; желтый цвет – полупустыня.

Проведено исследование по оценке возможной зависимости урожайности озимой пшеницы и имеющихся площадей защитных лесных насаждений, представлено на рисунке 3.

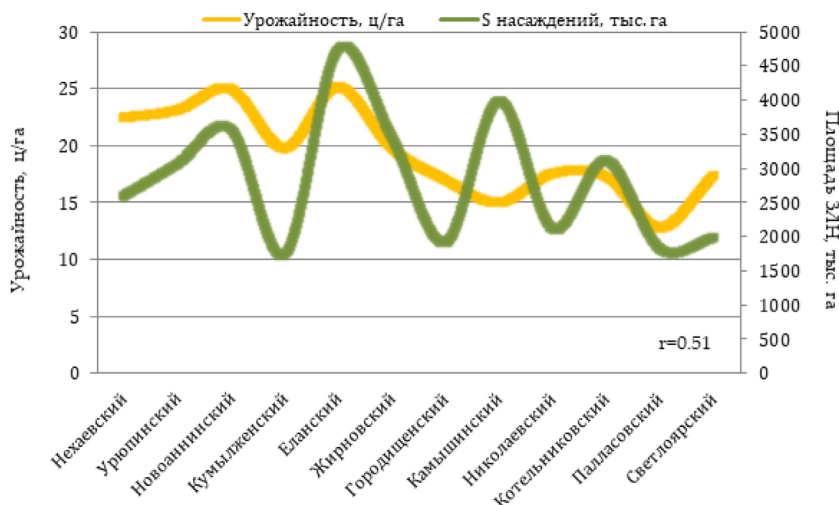


Рис. 3. Зависимости урожайности и площадей ЗЛН по объектам исследований.

При вычислении корреляционной зависимости расчеты показали среднюю связь между урожайностью и имеющимися площадями защитных лесных насаждений – 0.51. По результатам оценки достоверности коэффициента корреляции критическое значение критерия Стьюдента составило $t_r = 1.86$, превышая $t_{крит} = 1.81$, что свидетельствует о статистической значимости коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha 0.10$.

При расчете корреляционной зависимости между урожайностью и показателем почвенного плодородия, гумусом, коэффициент показал тесную связь – 0,85. Критическое значение критерия Стьюдента составило $t_r = 5.12$, что превышает $t_{крит} = 3.16$ при уровне значимости $\alpha 0.01$.

При расчете корреляционной связи между урожайностью и средней суммой осадков за 50-ти летний период, выявлена сильная корреляционная зависимость 0.86. Значимость подтверждена критерием Стьюдента, который составил $t_r = 5.36$, превысив $t_{крит} = 3.16$, при уровне значимости $\alpha 0.01$.

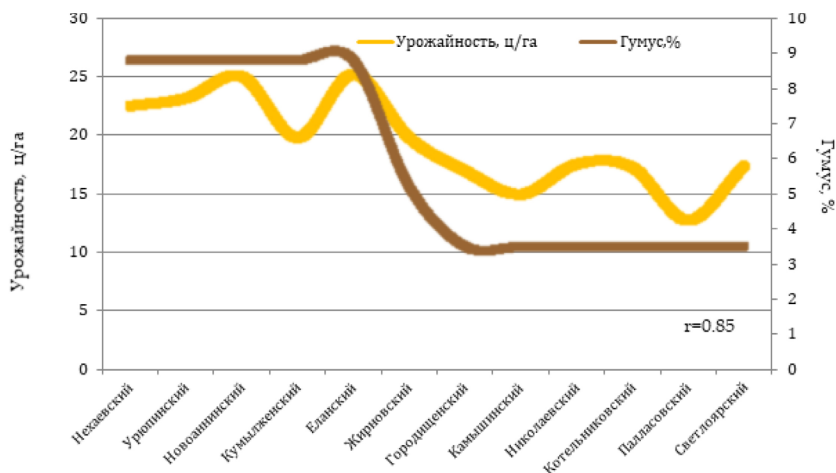


Рис. 4. Зависимости урожайности и почвенного плодородия (гумус) по объектам исследований.

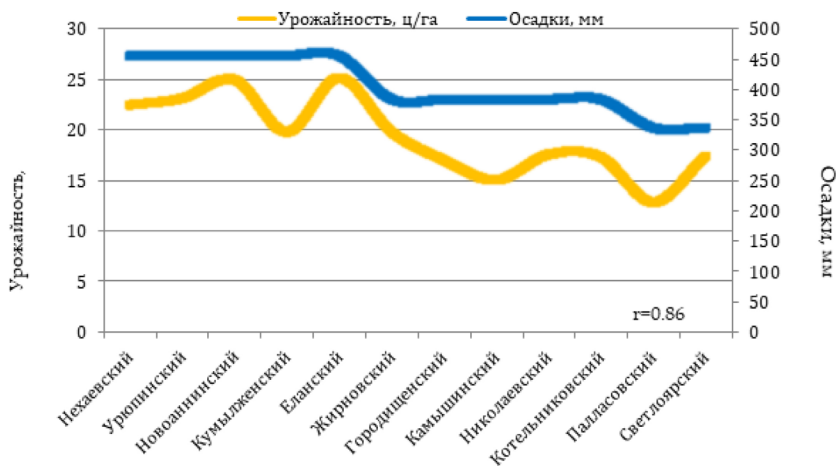


Рис. 5. Зависимости урожайности и влагообеспеченности (количества осадков) по объектам исследований.

Основной целью данного исследования являлось определение достоверности влияния комплекса факторов: лесистость территорий в виде площадей защитных лесных насаждений, почвенного плодородия (гумус) и количества осадков на урожайность озимой пшеницы. Рас-

считанный коэффициент детерминации $R^2=0.824$ в регрессионной модели свидетельствует, что 82.4% вариаций в урожайности объясняются исследуемыми факторами: оптимальной лесистостью земель сельскохозяйственного назначения в виде площадей защитных насаждений, плодородием (гумус) и годовыми суммами осадков. Остальные проценты приходятся на неучтенные в данном исследовании факторы: используемые сорта, применяемые удобрения, температура, число обработок почвы и другие. Стандартная ошибка составила 1.928, что характеризует отклонение значений от линии регрессии в среднем на 1.928 единицы. Общая F статистика 12.52. Статистическая значимость данной модели составляет 0.0021, что ниже α 0.05.

Таблица 3.

**Значимость полученных р-значений изучаемых факторов
в регрессионной модели**

№ п/п	Факторы	Коэффициенты	р-значение	Соответствие уровню значимости
1.	Площади ЗЛН, тыс. га	0.001012	0.1649	не значим
2.	Гумус, %	0.667362	0.1830	α 0.1
3.	Осадки, мм	0.026314	0.4028	α 0.1

Примечание: Полученные р-значения факторов почвенного плодородия (гумус) 0.18 и осадков 0.40 статистически значимы при α 0.10.

Обсуждение

Исследования влияния агролесомелиоративных систем на урожайность сельскохозяйственных культур

Первые доступные публичные оценки влияния агролесомелиоративных насаждений на урожайность сельскохозяйственных культур засушливых территорий России относятся к началу XX века. С 1954 года в Советском Союзе проводились массовые исследования по определению влияния лесных полос на урожайность различных сельскохозяйственных культур. По их результатам в степной и лесостепной областях Украины прибавка урожая зерна составляла 25 - 100% на удаленных от насаждений объектах до 20 высот (20Н), по сравнению с урожайностью на незащищенных полях [20]. Также изучалось влияние насаждений на элементы структуры урожая: число зерен в колосе, масса 1000 зерен [20]. Был доказан положительный эффект. По результатам исследований в Центрально Черноземной России также был выявлен эффект влияния отдельных полос на продуктивность возделываемых

сельскохозяйственных культур: у зерновых на 25%, овощей до 50%, трав до 100% [17]. Несмотря на вековые опыты агролесомелиоративных практик в Европе, доступные результаты исследований по влиянию насаждений на урожайность сельскохозяйственных культур, относятся ко второй половине XX века [60]. Исследователи из Пакистана доказали зависимость изменения урожайности от удаленности от насаждений. Увеличенные показатели наблюдались при удалении объектов до 12 метров [44]. Был сделан вывод об отсутствии влияния на урожайность видового состава насаждений. Результаты исследований по влиянию эвкалиптовых насаждений на урожайность пшеницы и хлопка в пустыне ТАР, показали увеличение показателей только у хлопка, с максимальными значениями урожая на расстоянии 60-75 м от насаждений [60]. Многолетние опыты по изучению влияния 30-ти летних насаждений на урожайность сераделлы, картофеля, люпина, овса и его смеси с ячменем показали наименьшую их урожайность вблизи насаждений 1Н, максимальный эффект проявился на расстоянии 3-10 Н. Показатель урожайности зеленой массы сераделлы превысил контроль на 50%, семян на 37%, картофеля на 30%. Чистая культура овса увеличила урожайность до 17% [57]. В настоящее время, как в России, так и в европейских странах, активно проводятся исследования изучающие влияние насаждений на продуктивность конкретных территорий, полей севооборотов, отдельных культур и ряда показателей: микроклимата, эрозионных процессов, продукционных циклов, урожайности, физиологических процессов [4].

Середина XX века – начало формирования в России новой агролесомелиоративной парадигмы. Она заключается в трехмерной оценке агроландшафта и на основе нелинейного подхода заполнение пространства различными видами искусственных насаждений, с целью создания многофункциональных высокопродуктивных агролесоландшафтных комплексов [11; 12; 13; 23; 26]. В связи с этим изменился подход к исследованиям влияния агролесомелиоративных систем на продуктивность земель. Стали применяться комплексные подходы [5]. В исследования добавилось изучение комплексных показателей почв, их систем обработки [4; 6-9]. До настоящего времени не достаточно данных по достоверности вклада различных факторов влияния на урожайность сельскохозяйственных культур, включая фактор лесистости в виде площадей защитных лесных насаждений. Настоящее исследование регионального уровня (Волгоградская область), представляет новое знание по достоверности влияния изучаемых

факторов на урожайность *Triticum aestivum* ведущей продовольственной культуры засушливых территорий.

Выводы

1. Проведен анализ урожайности озимой пшеницы за длительный период с 1973 по 2022 гг, по объектам исследований (районы области), который подтвердил значимое влияние на значение показателей почвенно-климатических условий.
2. Корреляционная зависимость урожайности с изучаемыми факторами составила: по показателю лесистость территорий в виде площадей защитных лесных насаждений $r=0.51$, средняя степень влияния. Почвенное плодородие (гумус) $r=0.85$ и влагообеспеченности (осадки) $r=0.86$ сильная степень влияния. Достоверность полученных зависимостей подтверждена t критерием.
3. Полученный в регрессионной модели коэффициент детерминации $R^2=0.824$ свидетельствует, что 82.4% вариаций в урожайности объясняются исследуемыми факторами: оптимальной лесистостью земель сельскохозяйственного назначения в виде площадей защитных насаждений, плодородием (гумус) и осадками. Остальной процент приходится на неучтенные в исследовании факторы.
4. Данное исследование показывает наличие влияния фактора ЗЛН, в комплексе показателей, на продуктивность земель сельскохозяйственного назначения, представленную урожайностью озимой пшеницы. Выводы подтверждают необходимость создания искусственных насаждений в объемах соответствующих показателю оптимальной лесистости, с целью более эффективного функционирования земель сельскохозяйственного назначения.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках исполнения вопроса Государственного задания (ГЗ) «Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях» (рег. № 122020100311-3).

Благодарности. Автор благодарит младшего научного сотрудника лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН А.А. Васильченко за картографический материал, подготовленный к статье.

Список литературы

1. Сарычев, А. Н., Михальков, Д. Е., Вдовенко, А. В., & Воробьёва, О. М. (2021). Агроэкологические условия возделывания озимой пшеницы под защитой лесных полос. *Аграрный вестник Урала*, 1(204), 11–20. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-11-20>. EDN: <https://elibrary.ru/IUBVMJ>
2. Архив климатических данных ВНИИГМИМЦ [Электронный ресурс]. Обнинск, 1997. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (дата обращения: 12.02.2024).
3. Васильев, М. Е. (1978). *Защитное лесоразведение в сухой степи Алтайского края и Северного Казахстана* [Автореф. дис. ... дра с.-х. наук] (37 с.). Ленинград. EDN: <https://elibrary.ru/QGJBED>
4. Васильев, Ю. И., Сарычев, А. Н., & Сергеева, И. С. (2009). Формирование биопродуктивного потенциала и его влияние на урожай в зоне влияния лесной полосы. *Аграрный вестник Урала*, 4(58), 89–92. EDN: <https://elibrary.ru/PMXDYN>
5. Васильев, Ю. И., Волошенкова, Т. В., & Овечко, Н. Н. (2013). Методология прогноза варьирования урожая зерновых культур в агролесоландшафте в связи с нестабильностью климатических характеристик. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, 4, 54–57. EDN: <https://elibrary.ru/QCNHRJ>
6. Васильев, Ю. И., Турко, С. Ю., & Сарычев, А. Н. (2014). Моделирование агрономического влияния лесных полос в их системах с разными параметрами. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: Сборник научных трудов*, 562, 5–14. EDN: <https://elibrary.ru/SZNVWF>
7. Васильев, Ю. И., & Турко, С. Ю. (2015). К вопросу о прибавке урожайности озимой пшеницы на лесомелиорированной территории и возникновении определённых рисков. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*, 3(59), 68–73. EDN: <https://elibrary.ru/UIYPKR>
8. Васильев, Ю. И., Турко, С. Ю., & Овечко, Н. Н. (2016). Математическое моделирование многолетнего варьирования урожайности озимой пшеницы на открытом и облесенном пространстве. *Российская сельскохозяйственная наука*, 1, 38–41. EDN: <https://elibrary.ru/VMBFZZ>
9. Волошенкова, Т. В. (2018). Ресурсосберегающие технологии и устойчивость почв к дефляции в агролесоландшафтах юга России. *Новости науки в АПК*, 1(10), 28–32. <https://doi.org/10.25930/2218-855x-1-10-4350>. EDN: <https://elibrary.ru/GFXDGR>
10. Воробьёв, А. В. (1992). Земельные ресурсы. В: *Почвенноэкологические проблемы в степном земледелии (предложения по рациональному исполь-*

- зованию почвенных ресурсов Волгоградской области) (с. 16–22). Пушино: Институт почвоведения и фотосинтеза.
11. Ивонин, В. М. (2023). Синергетика систем агролесомелиорации. *Региональные геосистемы*, 47(1), 62–75. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75>. EDN: <https://elibrary.ru/OGKKIX>
 12. Ивонин, В. М. (2024). Регенеративная агролесомелиорация. *Региональные геосистемы*, 48(1), 30–44. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44>. EDN: <https://elibrary.ru/TMQEUN>
 13. Ивонин, В. М. (2024). Теоретическая концепция агролесомелиоративных систем. *Орошаемое земледелие*, 1(44), 59–64. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2024-1-9>. EDN: <https://elibrary.ru/ILDRGH>
 14. Кулик, К. Н., & Пугачёва, А. М. (2016). Лесомелиорация — основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения. *Лесотехнический журнал*, 6(3/23), 29–40. EDN: <https://elibrary.ru/WMUWWL>
 15. Кулик, К. Н., Беляев, А. И., & Пугачёва, А. М. (2023). Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием в агроландшафтах. *Аридные экосистемы*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010079>. EDN: <https://elibrary.ru/OSGDIB>
 16. Макарь, С. В. (2012). Устойчивость развития лесного потенциала регионов России как оценка эффективности стратегий его реализации. *Региональная экономика: теория и практика*, 2, 9–19. EDN: <https://elibrary.ru/ONWPJB>
 17. Молчанов, А. А. (1966). *Оптимальная лесистость (на примере ЦЧР)* (126 с.). Москва: Наука.
 18. Недикова, Е. В., Чечин, Д. И., & Краснянская, Е. В. (2022). Совершенствование лесомелиоративного устройства пахотных земель. *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*, 10, 637–642. <https://doi.org/10.33920/sel-04-2210-02>. EDN: <https://elibrary.ru/RZQZTD>
 19. Овчинников, А. С., Балашова, Н. Н., & Иванова, Н. В. (2014). Стратегия комплексного развития сельских территорий и эффективного функционирования агропромышленного комплекса Волгоградской области в условиях ВТО. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*, 1, 16–20. EDN: <https://elibrary.ru/RUNKZI>
 20. Логгинов, Б. И. (1961). *Основы полезащитного лесоразведения* (353 с.). Киев: издательство УАСХН.
 21. Сарычев, А. Н., Михальков, Д. Е., Мищенко, Е. В., и др. (2023). Особенности формирования урожайности и показателей качества зерна озимой пшеницы в агролесоландшафте. *Аграрная Россия*, 10, 25–30. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-10-25-30>. EDN: <https://elibrary.ru/GFMGJF>

22. Сергеева, И. С., Васильев, Ю. И., Овечко, Н. Н., и др. (2010). Оценка почво-защитного влияния лесных полос с учётом их возрастного аспекта при новых условиях землепользования на пашне сухой степи Нижнего Поволжья. *Аграрный вестник Урала*, 8(74), 64–66. EDN: <https://elibrary.ru/MVLKXR>
23. Гордеев, А. В., & Романенко, Г. А. (ред.). (2008). *Проблемы деградации и восстановления продуктивности сельскохозяйственных земель в России* (68 с.). Москва: Росинформагротех.
24. Пугачёва, А. М. (2018). Агролесомелиоративные системы — основа развития земледелия. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*, 1(49), 227–237. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-01-227-237>. EDN: <https://elibrary.ru/YZKGZV>
25. Рулев, А. С., & Пугачёва, А. М. (2019). Развитие растениеводства на региональном уровне (на примере Волгоградской области). *Исследования экономического развития России*, 30(5), 557–562. <https://doi.org/10.1134/S1075700719050113>. EDN: <https://elibrary.ru/ZRSBHL>
26. Рулев, А. С., & Пугачёва, А. М. (2019a). Формирование новой агролесомелиоративной парадигмы. *Вестник Российской академии наук*, 89(10), 1044–1051. <https://doi.org/10.31857/S0869-587389101044-1051>. EDN: <https://elibrary.ru/GPUZVY>
27. Рулева, О. В. (2014). Модель производственного процесса выращивания сельскохозяйственных культур в орошаемых агролесомелиоративных ландшафтах. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*, 3(35), 62–68. EDN: <https://elibrary.ru/SPWSHT>
28. Рулев, А. С., & Рулева, О. В. (2015). Геопространственная парадигма в управлении биопродуктивностью агролесоландшафтов. *Научная жизнь*, 6, 68–77. EDN: <https://elibrary.ru/VJOZNH>
29. Рулева, О. В., Рулев, А. С., & Овечко, Н. Н. (2015). Расчёт суточного прироста биомассы кукурузы в орошаемых агролесоландшафтах. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 5(55), 53–57. EDN: <https://elibrary.ru/UZBXUF>
30. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2016). Закономерности развития сельскохозяйственных культур в богарных и орошаемых агролесоландшафтах. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, 4, 18–20. EDN: <https://elibrary.ru/WEZWV>
31. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2018). Динамика скорости ветра в орошаемых агролесоландшафтах. *Метеорология и гидрология*, 9, 97–103. EDN: <https://elibrary.ru/XZITYL>

32. Сарычев, А. Н., Костин, М. В., & Плескачев, Ю. Н. (2021). Влияние защитных лесных насаждений и приёмов обработки почвы на агрофизические свойства каштановых почв и урожайность сельскохозяйственных культур. *Лесной вестник. Forestry Bulletin*, 25(6), 63–70. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-6-63-70>. EDN: <https://elibrary.ru/IZCHLI>
33. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2016). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662346 Российская Федерация. *Определение размера малой выборки масличных культур в зоне влияния лесных полос* (№ 2016619724; заявл. 14.09.2016; опубл. 08.11.2016). Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». EDN: <https://elibrary.ru/APFMKA>
34. Пугачёва, А. М., Беляев, А. И., & Трубакова, К. Ю. (2023). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622960 Российская Федерация. *Зональная агролесомелиоративная система сухих степей Волгоградской области* (№ 2023622402; заявл. 26.07.2023; опубл. 28.08.2023). Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». EDN: <https://elibrary.ru/YGTUTX>
35. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2016). Патент № 2603903 С1 Российская Федерация, МПК А01G 7/00, А01G 1/00. *Способ расчёта биомассы растений в межполосном пространстве* (№ 2015139780/13; заявл. 18.09.2015; опубл. 10.12.2016). Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН). EDN: <https://elibrary.ru/PLZREF>
36. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2017). Значение лесных полос при формировании урожая орошаемых сельскохозяйственных культур. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*, 1(65), 128–134. EDN: <https://elibrary.ru/YIYBFR>
37. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2017). *Биопродуктивность орошаемых агролесоландшафтов: модели и прогнозы* (115 с.). Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. ISBN: 9785990984127. EDN: <https://elibrary.ru/CKQIMN>
38. Рябинина, Н. О. (2011). Сохранение эталонных степных экосистем и ландшафтов Волгоградской области. *Бюл. Волгоград. Государственный университет*, 3, 231–238. EDN: <https://elibrary.ru/NWGBCF>
39. Сажин, А. Н., Кулик, К. Н., & Васильев, Ю. И. (2017). *Погода и климат Волгоградской области* (2е изд., перераб. и доп.; 334 с.). Волгоград: Фе-

- деральный исследовательский центр агроэкологии Российской академии наук. ISBN: 9785900761008. EDN: <https://elibrary.ru/WNPTAJ>
40. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2017). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663290 Российская Федерация. *Расчёт фотосинтетического потенциала озимой пшеницы за вегетационный период в облесенном агролесоландшафте* (№ 2017660190; заявл. 10.10.2017; опубл. 28.11.2017). Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». EDN: <https://elibrary.ru/WJCBHC>
41. Кулик, К. Н., Барабанов, А. Т., Жданов, Ю. М., и др. (2017). *Стратегия развития защитного лесоразведения в Волгоградской области на период до 2025 года* (39 с.). Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексной мелиорации земель и защитного лесоразведения Российской академии наук. ISBN: 9785900761961. EDN: <https://elibrary.ru/YJFHJZ>
42. *Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2025 года* (34 с.). Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014.
43. Рулева, О. В., & Овечко, Н. Н. (2018). Патент № 2661829 С1 Российская Федерация, МПК A01G 7/00, A01G 23/00. *Способ оценки урожая и продуктивности орошаемых сельскохозяйственных культур в лесозащитных ландшафтах* (заявл. 18.01.2017; опубл. 19.07.2018). Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН). EDN: <https://elibrary.ru/ZEJAHB>
44. Akbar, G., Ahmad, M., Rafique, S., et al. (1990). Effect of trees on the yield of wheat crop. *Agroforestry Systems*, 11, 1–10. <https://doi.org/10.1007/BF00122808>. EDN: <https://elibrary.ru/XLMQIW>
45. Ameha, N., & Asfaw, Z. (2024). Orientation and root trench effects of *Eucalyptus globulus* boundary plantations on barley yield and soil physicochemical properties in the Gummer district, Central Highlands, Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 98, 1461–1473. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01015-5>. EDN: <https://elibrary.ru/YGWEVG>
46. Arkhipova, M. V. (2020). Forest cover changes in the center of East European Plain over the last 150 years. *Contemporary Problems of Ecology*, 13(7), 825–834. <https://doi.org/10.1134/S1995425520070033>. EDN: <https://elibrary.ru/JJJRH>
47. Chemura, A., Yalew, A. W., & Gornott, C. (2021). Quantifying agroforestry yield buffering potential under climate change in the smallholder maize farming

- systems of Ethiopia. *Frontiers in Agronomy*, 3, 609536. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.609536>. EDN: <https://elibrary.ru/LRHRQF>
48. Eichhorn, M. P., Paris, P., Herzog, F., Incolli, L. D., Liagre, F., Mantzanas, K., et al. (2006). Silvoarable systems in Europe — past, present and future prospects. *Agroforestry Systems*, 67, 29–50. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-1111-7>. EDN: <https://elibrary.ru/MWIXGC>
49. García de Jalón, S., Graves, A., Palma, J. H. N., Williams, A., Upson, M., & Burgess, P. J. (2018). Modelling and valuing the environmental impacts of arable, forestry and agroforestry systems: a case study. *Agroforestry Systems*, 92, 1059–1073. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0128-z>. EDN: <https://elibrary.ru/IBGMSS>
50. Ivezić, V., Yu, Y., & Werf, W. v. d. (2021). Crop yields in European agroforestry systems: a metaanalysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606631>. EDN: <https://elibrary.ru/PFSRCW>
51. Kanzler, M., Böhm, C., & Mirck, J., et al. (2019). Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 93, 1821–1841. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4>. EDN: <https://elibrary.ru/ROXZGS>
52. Kachova, V., Hinkov, G., Popov, E., et al. (2018). Agroforestry in Bulgaria: history, presence status and prospects. *Agroforestry Systems*, 92, 655–665. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0029-6>. EDN: <https://elibrary.ru/OPFEJL>
53. Krčmarova, J., & Jelescek, J. (2017). Czech traditional agroforestry: historic accounts and current status. *Agroforestry Systems*, 91, 1087–1100. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9985-0>. EDN: <https://elibrary.ru/IRLOKX>
54. Nerlich, K., GraeffHönninger, S., & Claupein, W. (2013). Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. *Agroforestry Systems*, 87, 475–492. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9560-2>. EDN: <https://elibrary.ru/KVVKBN>
55. Pugacheva, A. M. (2021). Effects exercised by artificial forest stands on the restoration of secondary virgin lands in agroforest landscapes of dry steppes. *Biology Bulletin*, 48, 199–206. <https://doi.org/10.1134/S1062359021020096>. EDN: <https://elibrary.ru/TBJFMJ>
56. Pugacheva, A. M. (2023). Functionality of zonal agroforestry systems on agricultural land of dry territories. *Forests*, 14(12), 2364. <https://doi.org/10.3390/f14122364>. EDN: <https://elibrary.ru/AVBZAQ>
57. Pretzschel, M., Bohme, G., & Krause, H. (1991). Effects of shelterbelts on crop yield. *Feldwirtschaft*, 32, 229–231.

58. Tubalov, A. A. (2023). Spatial principles of territories selection for priority development of agroforestry complexes. *Forests*, 14, 1225. <https://doi.org/10.3390/f14061225>. EDN: <https://elibrary.ru/EHLZWH>
59. Thiesmeier, A. (2024). Comparing the economic performance of poplarbased alley cropping systems with arable farming in Brandenburg under varying site conditions and policy scenarios. *Agroforestry Systems*, 98, 1507–1522. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01021-7>. EDN: <https://elibrary.ru/SBRSBY>
60. Sheikh, M. I., & Khalique, A. (1982). Effect of tree belts on the yield of agricultural crops. *Pakistan Journal of Forestry*, 32, 21–23.
61. Jiang, S., Xiong, K., & Xiao, J. (2022). Structure and stability of agroforestry ecosystems: insights into the improvement of service supply capacity of agroforestry ecosystems under the karst rocky desertification control. *Forests*, 13, 878. <https://doi.org/10.3390/f13060878>. EDN: <https://elibrary.ru/WCQLEU>
62. Quinkenstein, A., Wollecke, J., Böhm, C., Grunewald, H., Freese, D., Schneider, B., et al. (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy*, 12, 1112–1121. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.08.008>
63. Fisher, J., Zenger, A., Gibbons, P., Stott, J., & Law, B. S. (2010). Tree decline and the future of Australian farmland biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 19597–19602. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008476107>
64. Wolz, J. K., & DeLucia, E. H. (2018). Alley cropping: global patterns of species composition and function. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.005>
65. Yukhnovskyi, V., Polishchuk, O., Lobchenko, G., et al. (2021). Aerodynamic properties of windbreaks of various designs formed by thinning in central Ukraine. *Agroforestry Systems*, 95, 855–865. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00503-8>. EDN: <https://elibrary.ru/BAVVNE>
66. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 15.02.2024).
67. Росстат [Эл. ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 05.03.2024).
68. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. URL: <https://egrpr.esoil.ru> (дата обращения: 12.03.2024).
69. Правовая система «Легалакт» [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru> (дата обращения: 18.03.2024).

References

1. Sarychev, A. N., Mikhali'kov, D. E., Vdovenko, A. V., & Vorob'yeva, O. M. (2021). Agroecological conditions for winter wheat cultivation under the pro-

- tection of forest belts. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 1(204), 11–20. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-204-01-11-20>. EDN: <https://elibrary.ru/IUBBMJ>
2. AllRussia Research Institute of Hydrometeorological Information — World Data Center (VNIIGMIMDC). *Climate data archive* [Electronic resource]. Obninsk, 1997. URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (accessed: 12.02.2024).
 3. Vasil'ev, M. E. (1978). *Protective afforestation in the dry steppe of Altai Krai and Northern Kazakhstan* [Author's abstract of Doctoral Dissertation in Agricultural Sciences] (37 pp.). Leningrad. EDN: <https://elibrary.ru/QGJBED>
 4. Vasil'ev, Yu. I., Sarychev, A. N., & Sergeeva, I. S. (2009). Formation of bioproductive potential and its impact on yield in the zone of forest belt influence. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 4(58), 89–92. EDN: <https://elibrary.ru/PMXDYH>
 5. Vasil'ev, Yu. I., Voloshenkova, T. V., & Ovechko, N. N. (2013). Methodology for forecasting yield variation of grain crops in agroforest landscapes in relation to climatic instability. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 4, 54–57. EDN: <https://elibrary.ru/QCNHRJ>
 6. Vasil'ev, Yu. I., Turko, S. Yu., & Sarychev, A. N. (2014). Modeling agronomic influence of forest belts in their systems with different parameters. In *Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture: Collection of scientific papers*, 56(2), 5–14. EDN: <https://elibrary.ru/SZNVWF>
 7. Vasil'ev, Yu. I., & Turko, S. Yu. (2015). On the issue of winter wheat yield increase in forestameliorated areas and associated risks. *Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture*, 3(59), 68–73. EDN: <https://elibrary.ru/UIYPKR>
 8. Vasil'ev, Yu. I., Turko, S. Yu., & Ovechko, N. N. (2016). Mathematical modeling of longterm yield variation of winter wheat in open and forested areas. *Russian Agricultural Science*, 1, 38–41. EDN: <https://elibrary.ru/VMBFZZ>
 9. Voloshenkova, T. V. (2018). Resourcesaving technologies and soil resistance to deflation in agroforest landscapes of southern Russia. *Science News in AgroIndustrial Complex*, 1(10), 28–32. <https://doi.org/10.25930/2218-855x-1-10-4350>. EDN: <https://elibrary.ru/GFXDGR>
 10. Vorob'yov, A. V. (1992). Land resources. In: *Soilecological problems in steppe agriculture (proposals for rational use of soil resources in Volgograd region)* (pp. 16–22). Pushchino: Institute of Soil Science and Photosynthesis.
 11. Ivonin, V. M. (2023). Synergetics of agroforestry amelioration systems. *Regional Geosystems*, 47(1), 62–75. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75>. EDN: <https://elibrary.ru/OGKKIX>
 12. Ivonin, V. M. (2024a). Regenerative agroforestry. *Regional Geosystems*, 48(1), 30–44. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2024-48-1-30-44>. EDN: <https://elibrary.ru/TMQEUIH>

13. Ivonin, V. M. (2024b). Theoretical concept of agroforestry systems. *Irrigated Agriculture*, 1(44), 59–64. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2024-1-9>. EDN: <https://elibrary.ru/ILDRGH>
14. Kulik, K. N., & Pugacheva, A. M. (2016). Forest amelioration as a basis for creating sustainable agrolandscapes in insufficiently humidified conditions. *Forestry Engineering Journal*, 6(3/23), 29–40. EDN: <https://elibrary.ru/WMUWWL>
15. Kulik, K. N., Belyaev, A. I., & Pugacheva, A. M. (2023). Role of protective afforestation in combating drought and desertification in agrolandscapes. *Arid Ecosystems*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010079>. EDN: <https://elibrary.ru/OSGDIB>
16. Makar, S. V. (2012). Sustainability of forest potential development in Russian regions as an assessment of strategy implementation effectiveness. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2, 9–19. EDN: <https://elibrary.ru/ONWPJB>
17. Molchanov, A. A. (1966). *Optimal forest cover (case study of Central Chernozem Region)* (126 pp.). Moscow: Nauka.
18. Nedikova, E. V., Chechin, D. I., & Krasnyanskaya, E. V. (2022). Improving forest amelioration design of arable lands. *Land Management, Cadastre and Land Monitoring*, 10, 637–642. <https://doi.org/10.33920/sel-04-2210-02>. EDN: <https://elibrary.ru/RZQZTD>
19. Ovchinnikov, A. S., Balashova, N. N., & Ivanova, N. V. (2014). Strategy for integrated development of rural territories and effective functioning of the agroindustrial complex of Volgograd Oblast under WTO conditions. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*, 1, 16–20. EDN: <https://elibrary.ru/RUNKZJ>
20. Logginov, B. I. (1961). *Fundamentals of fieldprotective afforestation* (353 pp.). Kyiv: UASKhN Publishing House.
21. Sarychev, A. N., Mikhail'kov, D. E., Mishchenko, E. V., et al. (2023). Features of yield formation and grain quality indicators of winter wheat in agroforest landscape. *Agrarian Russia*, 10, 25–30. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-10-25-30>. EDN: <https://elibrary.ru/GFMGJF>
22. Sergeeva, I. S., Vasil'ev, Yu. I., Ovechko, N. N., et al. (2010). Assessment of soilprotective influence of forest belts considering their age aspect under new land use conditions on arable land in the dry steppe of the Lower Volga region. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 8(74), 64–66. EDN: <https://elibrary.ru/MVLKXR>
23. Gordeev, A. V., & Romanenko, G. A. (Eds.). (2008). *Problems of degradation and restoration of agricultural land productivity in Russia* (68 pp.). Moscow: Rosinformagrotekh.

24. Pugacheva, A. M. (2018). Agroforestry systems as a basis for agricultural development. *Proceedings of the Lower Volga AgroUniversity Complex: Science and Higher Professional Education*, 1(49), 227–237. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-01-227-237>. EDN: <https://elibrary.ru/YZKGZV>
25. Rulev, A. S., & Pugacheva, A. M. (2019). Development of crop production at the regional level (case study of Volgograd Oblast). *Studies of Economic Development of Russia*, 30(5), 557–562. <https://doi.org/10.1134/S1075700719050113>. EDN: <https://elibrary.ru/ZRSBHL>
26. Rulev, A. S., & Pugacheva, A. M. (2019a). Formation of a new agroforestry paradigm. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89(10), 1044–1051. <https://doi.org/10.31857/S0869-587389101044-1051>. EDN: <https://elibrary.ru/GPUZVY>
27. Ruleva, O. V. (2014). Model of the production process of crop cultivation in irrigated agroforestry landscapes. *Proceedings of the Lower Volga AgroUniversity Complex: Science and Higher Professional Education*, 3(35), 62–68. EDN: <https://elibrary.ru/SPWSHT>
28. Rulev, A. S., & Ruleva, O. V. (2015). Geospatial paradigm in managing bio-productivity of agroforest landscapes. *Scientific Life*, 6, 68–77. EDN: <https://elibrary.ru/VJOZNH>
29. Ruleva, O. V., Rulev, A. S., & Ovechko, N. N. (2015). Calculation of daily biomass increment of maize in irrigated agroforest landscapes. *Proceedings of Orenburg State Agrarian University*, 5(55), 53–57. EDN: <https://elibrary.ru/UZBXUF>
30. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2016). Patterns of crop development in rain-fed and irrigated agroforest landscapes. *Herald of Russian Agricultural Science*, 4, 18–20. EDN: <https://elibrary.ru/WEZWV>
31. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2018). Dynamics of wind speed in irrigated agroforest landscapes. *Meteorology and Hydrology*, 9, 97–103. EDN: <https://elibrary.ru/XZITYL>
32. Sarychev, A. N., Kostin, M. V., & Pleskachev, Yu. N. (2021). Influence of protective forest plantations and soil tillage methods on agrophysical properties of chestnut soils and crop yields. *Forestry Bulletin*, 25(6), 63–70. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-6-63-70>. EDN: <https://elibrary.ru/IZCHLI>
33. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2016). *Certificate of state registration of computer program No. 2016662346 Russian Federation. Determination of small sample size of oilseed crops in the zone of forest belt influence* (No. 2016619724; filed 14.09.2016; published 08.11.2016). Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclama-

- tion and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”. EDN: <https://elibrary.ru/APFMKA>
34. Pugacheva, A. M., Belyaev, A. I., & Trubakova, K. Yu. (2023). *Certificate of state registration of database No. 2023622960 Russian Federation. Zonal agroforestry system of dry steppes of Volgograd Oblast* (No. 2023622402; filed 26.07.2023; published 28.08.2023). Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”. EDN: <https://elibrary.ru/YGTUTX>
35. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2016). *Patent No. 2603903 C1 Russian Federation, IPC A01G 7/00, A01G 1/00. Method for calculating plant biomass in interbelt space* (No. 2015139780/13; filed 18.09.2015; published 10.12.2016). Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC for Agroecology RAS). EDN: <https://elibrary.ru/PLZREF>
36. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2017). The role of forest belts in crop yield formation under irrigation. *Ways to Improve the Efficiency of Irrigated Agriculture*, 1(65), 128–134. EDN: <https://elibrary.ru/YIYBFR>
37. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2017). *Bioproductivity of irrigated agroforest landscapes: models and forecasts* (115 pp.). Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, RAS. ISBN: 9785990984127. EDN: <https://elibrary.ru/CKQIMN>
38. Ryabinina, N. O. (2011). Preservation of reference steppe ecosystems and landscapes in Volgograd Oblast. *Bulletin of Volgograd State University*, 3, 231–238. EDN: <https://elibrary.ru/NWGBCF>
39. Sazhin, A. N., Kulik, K. N., & Vasil’ev, Yu. I. (2017). *Weather and climate of Volgograd Oblast* (2nd ed., revised and enlarged; 334 pp.). Volgograd: Federal Research Center for Agroecology, Russian Academy of Sciences. ISBN: 9785900761008. EDN: <https://elibrary.ru/WNPTAJ>
40. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2017). *Certificate of state registration of computer program No. 2017663290 Russian Federation. Calculation of winter wheat photosynthetic potential over the growing season in a forested agroforest landscape* (No. 2017660190; filed 10.10.2017; published 28.11.2017). Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences”. EDN: <https://elibrary.ru/WJCBHC>

41. Kulik, K. N., Barabanov, A. T., Zhdanov, Yu. M., et al. (2017). *Strategy for the development of protective afforestation in Volgograd Oblast for the period up to 2025* (39 pp.). Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences. ISBN: 9785900761961. EDN: <https://elibrary.ru/YJFHJZ>
42. *Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period up to 2025* (34 pp.). Volgograd: AllRussia Research Institute of Agroforestry (VNIALMI), 2014.
43. Ruleva, O. V., & Ovechko, N. N. (2018). *Patent No. 2661829 C1 Russian Federation, IPC A01G 7/00, A01G 23/00. Method for assessing yield and productivity of irrigated crops in forestprotected landscapes* (filed 18.01.2017; published 19.07.2018). Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC for Agroecology RAS). EDN: <https://elibrary.ru/ZEJAHB>
44. Akbar, G., Ahmad, M., Rafique, S., et al. (1990). Effect of trees on the yield of wheat crop. *Agroforestry Systems*, 11, 1–10. <https://doi.org/10.1007/BF00122808>. EDN: <https://elibrary.ru/XLMQIW>
45. Ameha, N., & Asfaw, Z. (2024). Orientation and root trench effects of *Eucalyptus globulus* boundary plantations on barley yield and soil physicochemical properties in the Gummer district, Central Highlands, Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 98, 1461–1473. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01015-5>. EDN: <https://elibrary.ru/YGWEVG>
46. Arkhipova, M. V. (2020). Forest cover changes in the center of East European Plain over the last 150 years. *Contemporary Problems of Ecology*, 13(7), 825–834. <https://doi.org/10.1134/S1995425520070033>. EDN: <https://elibrary.ru/JJJJRH>
47. Chemura, A., Yalew, A. W., & Gornott, C. (2021). Quantifying agroforestry yield buffering potential under climate change in the smallholder maize farming systems of Ethiopia. *Frontiers in Agronomy*, 3, 609536. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.609536>. EDN: <https://elibrary.ru/LRHRQF>
48. Eichhorn, M. P., Paris, P., Herzog, F., Incolli, L. D., Liagre, F., Mantzanas, K., et al. (2006). Silvoarable systems in Europe — past, present and future prospects. *Agroforestry Systems*, 67, 29–50. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-1111-7>. EDN: <https://elibrary.ru/MWIXGC>
49. García de Jalón, S., Graves, A., Palma, J. H. N., Williams, A., Upson, M., & Burgess, P. J. (2018). Modelling and valuing the environmental impacts of arable, forestry and agroforestry systems: a case study. *Agroforestry Systems*, 92,

- 1059–1073. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0128-z>. EDN: <https://elibrary.ru/IBGMSS>
50. Ivezić, V., Yu, Y., & Werf, W. v. d. (2021). Crop yields in European agroforestry systems: a metaanalysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606631>. EDN: <https://elibrary.ru/PFSRCW>
51. Kanzler, M., Böhm, C., & Mirck, J., et al. (2019). Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 93, 1821–1841. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4>. EDN: <https://elibrary.ru/ROXZGS>
52. Kachova, V., Hinkov, G., Popov, E., et al. (2018). Agroforestry in Bulgaria: history, presence status and prospects. *Agroforestry Systems*, 92, 655–665. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0029-6>. EDN: <https://elibrary.ru/OPFEJL>
53. Krčmarova, J., & Jelescek, J. (2017). Czech traditional agroforestry: historic accounts and current status. *Agroforestry Systems*, 91, 1087–1100. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9985-0>. EDN: <https://elibrary.ru/IRLOKX>
54. Nerlich, K., GraeffHönniger, S., & Claupein, W. (2013). Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. *Agroforestry Systems*, 87, 475–492. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9560-2>. EDN: <https://elibrary.ru/KVVKBN>
55. Pugacheva, A. M. (2021). Effects exercised by artificial forest stands on the restoration of secondary virgin lands in agroforest landscapes of dry steppes. *Biology Bulletin*, 48, 199–206. <https://doi.org/10.1134/S1062359021020096>. EDN: <https://elibrary.ru/TBJFMJ>
56. Pugacheva, A. M. (2023). Functionality of zonal agroforestry systems on agricultural land of dry territories. *Forests*, 14(12), 2364. <https://doi.org/10.3390/f14122364>. EDN: <https://elibrary.ru/AVBZAQ>
57. Pretzschel, M., Bohme, G., & Krause, H. (1991). Effects of shelterbelts on crop yield. *Feldwirtschaft*, 32, 229–231.
58. Tubalov, A. A. (2023). Spatial principles of territories selection for priority development of agroforestry complexes. *Forests*, 14, 1225. <https://doi.org/10.3390/f14061225>. EDN: <https://elibrary.ru/EHLZWH>
59. Thiesmeier, A. (2024). Comparing the economic performance of poplarbased alley cropping systems with arable farming in Brandenburg under varying site conditions and policy scenarios. *Agroforestry Systems*, 98, 1507–1522. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01021-7>. EDN: <https://elibrary.ru/SBRSBY>
60. Sheikh, M. I., & Khalique, A. (1982). Effect of tree belts on the yield of agricultural crops. *Pakistan Journal of Forestry*, 32, 21–23.

61. Jiang, S., Xiong, K., & Xiao, J. (2022). Structure and stability of agroforestry ecosystems: insights into the improvement of service supply capacity of agroforestry ecosystems under the karst rocky desertification control. *Forests*, 13, 878. <https://doi.org/10.3390/f13060878>. EDN: <https://elibrary.ru/WCQLEU>
62. Quinkenstein, A., Wollecke, J., Böhm, C., Grunewald, H., Freese, D., Schneider, B., et al. (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy*, 12, 1112–1121. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.08.008>
63. Fisher, J., Zerger, A., Gibbons, P., Stott, J., & Law, B. S. (2010). Tree decline and the future of Australian farmland biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 19597–19602. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008476107>
64. Wolz, J. K., & DeLucia, E. H. (2018). Alley cropping: global patterns of species composition and function. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 252, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.005>
65. Yukhnovskiy, V., Polishchuk, O., Lobchenko, G., et al. (2021). Aerodynamic properties of windbreaks of various designs formed by thinning in central Ukraine. *Agroforestry Systems*, 95, 855–865. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00503-8>. EDN: <https://elibrary.ru/BAVVNE>
66. Federal State Statistics Service [Electronic resource]. URL: <http://www.gks.ru> (accessed: 15.02.2024).
67. Rosstat [Electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed: 05.03.2024).
68. Unified State Register of Soil Resources of Russia [Electronic resource]. URL: <https://egrpr.esoil.ru> (accessed: 12.03.2024).
69. Legal system “LegalAct” [Electronic resource]. URL: <https://legalacts.ru> (accessed: 18.03.2024).

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Пугачёва Анна Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация

pugachevaa@vfanc.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR**Anna M. Pugacheva**, PhD Sci. Agr., Academic Secretary*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation Russian Academy of Sciences**97, Universitetskiy Ave., 400062 Volgograd, Russian Federation**pugachevaa@vfanc.ru**SPIN-code: 6857-8236**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-8056>**Researcher ID: 5482-2017**Scopus Author ID: 57194047579*

Поступила 05.11.2024

После рецензирования 23.12.2024

Принята 16.01.2025

Received 05.11.2024

Revised 23.12.2024

Accepted 16.01.2025