

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1031

EDN: DYZGZF

УДК 631:631.6.02



Научная статья

ПРОБЛЕМА ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ АРИДНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Назарова, А.М. Беляков

Аннотация

Обоснование. Изменение климата в сторону аридизации и усиление антропогенного воздействия приводят в том числе к дефляции, потере плодородия почв и опустыниванию агроландшафтов, что негативно влияет на их экологическую устойчивость и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Цель. Выявить влияние и механизм воздействия дефляционных процессов на экологическое равновесие агроландшафтов, нерешенные проблемы и пути развития исследований по ветровой эрозии почв в аридной зоне.

Материалы и методы. Использовались методы исследований агроландшафтов (методики ФГБНУ ВНИАЛМИ, ФГБНУ «Росинформагротех», ГНУ ВНИИЗПЭ), общепринятые методики. В качестве объектов исследовались агроландшафты, выстроенные на различных агротехнологиях.

Результаты. Выявлено, что устойчивость агроландшафтов высока при технологии прямого посева, где уровень дефляции составляет 8%, тогда как при классической агротехнологии 31%. Установлен механизм деградации почвы и территорий в условиях Волгоградской области под воздействием дефляции и уровень снижения продуктивности пашни, где ущерб агропроизводству региона составил 27,6 млрд. руб. Доказано влияние всего комплекса антропогенного воздействия на свойства и структуру почв, их эродированность, дефляционную активность и в целом на формирование экологически сбалансированных агроландшафтов. Определены перспективные направления исследований по проблеме дефляции, возможность прогнозирования рисков продовольственной безопасности.

Заключение. Получен новый экспериментальный материал по дефляции в зоне светло-каштановых почв. Наиболее сильно дефляция почвы проявилась при использовании классической агротехнологии. Определена необходимость

разработки системы критериев оценки территорий аридной зоны Российской Федерации и методов картографирования территорий и их районирования.

Ключевые слова: агроландшафт; пыльные бури; экологический баланс; лесополосы; дефляция почвы

Для цитирования. Назарова М.В., Беляков А.М. Проблема дефляции почвы в агроландшафтах аридной зоны Волгоградской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 127-144. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1031

Original article

THE PROBLEM OF SOIL DEFLATION IN THE AGROLANDSCAPES OF VOLGOGRAD REGION ARID ZONE

M.V. Nazarova, A.M. Belyakov

Abstract

Background. The climate is changing towards aridization and increasing on anthropogenic impact lead, among the other things, for example, a deflation, a loss of soil fertility and a desertification of agricultural landscapes, which negatively gives effect on their environmental sustainability and agricultural productivity.

Purpose. It is needed to identify the influence and mechanism of influence of deflationary processes on the ecological balance of agricultural landscapes, and we need to solve some unresolved problems and ways to develop research on wind erosion of soils in the arid zone.

Materials and methods. The methods of research of agricultural landscapes were used (methods of FGBNU VNIALMI, FGBNU “Rosinformagrotekh”, State Scientific Institution VNIIZPE), which used generally accepted methods. Agricultural landscapes were built by using various agricultural technologies were studied as objects.

Results. The revelation of those data proved that the stability of agricultural landscapes is high with direct sowing technology, where the level of deflation is 8%, while the classical agricultural technology it is 31%. The mechanism of soil and territory degradation in the conditions of Volgograd region under the influence of deflation and the level of decrease in arable land productivity, where the damage to agricultural production in the region was amounted to 27.6 billion rubles, have been established also. The influence of the entire complex of anthropogenic impacts on

the properties and structure of soils included their erodibility, deflationary activity and, in general, on the formation of ecologically balanced agricultural landscapes which has been proven successfully. The promising areas of research have been identified also in this article.

Conclusion. We proved that new experimental material on deflation in the zone of light chestnut soils has been obtained. Soil deflation was pronounced using classical agricultural technology. The need to develop a system of criteria for assessing the territories of the arid zone of the Russian Federation and methods for mapping territories.

Keywords: agrolandscape; dust storms; ecological balance; forest strips; soil deflation

For citation. Nazarova M.V., Belyakov A.M. The Problem of Soil Deflation in the Agrolandscapes of Volgograd Region Arid Zone. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 127-144. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1031

Введение

В условиях изменения климата в сторону аридизации и усиления антропогенного воздействия характерным становится рост деградации сельскохозяйственных земель. Одной из причин деградации и опустынивания сельскохозяйственных ландшафтов является дефляция почв, когда разрушение и снятие поверхностного слоя почвы происходит под воздействием ветра с критическими для устойчивости почвы скоростями [3; 15]. Дефляция, приводящая к значительным потерям почвенного плодородия, негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур и в целом на экологической сбалансированности агроландшафта.

Исследования по дефляционной тематике включают теоретические аспекты, в том числе изучение механизма выноса почвы, оценку устойчивости почв к ветровой эрозии, количественный учет интенсивности дефляции почв, моделирование дефляционных процессов, и практические аспекты, в том числе изучение эродированности, учет эрозии и дефляции почв и т.д. [2; 5; 7-9; 23; 27-31]. Но еще мало изучены процессы дефляции с учетом разрушающего воздействия на почву агропроизводств и интенсификации антропогенных нагрузок. В статье показаны не решенные на сегодняшний день проблемы в этом направлении, предлагаются пути развития исследований на землях, подверженных ветровой эрозии, раскрывается влияние результатов исследований на формирование сбалансированного агроландшафта.

Материалы и методы

Использовались основные методы исследований агроландшафтов в работах [12, 14, 16, 24, 25, 26], разработки ФГБНУ ВНИАЛМИ, ФГБНУ «Росинформагротех», ГНУ ВНИИЗПЭ. Исследования проводились в 2015-2023 гг. на основе общепринятых методик [10].

Опытные участки для изучения агроландшафтов и проявления дефляции почв были расположены на территории землепользований: ОАО «Усть-Медведицкое» (объект 1), КФХ Исаева В.В. (объект 2) Серафимовичского района, СПК «Черенский» (объект 3) Клетского района Волгоградской области. На объекте 1 применяется технология прямого посева, площадь пашни составляет 10137 га, урожайность за 3 года – 2,1 т/га в зерновых единицах, интенсивность использования пашни средняя. На объектах 2 и 3 при использовании соответственно комбинированной и классической агротехнологий на площади пашни 13500 и 15600 га с высокой интенсивностью, где урожайность за 3 года составила 4,2 и 3,3 т/га в зерновых единицах соответственно.

Волгоградская область по своим термоэнергетическим ресурсам и условиям увлажнения относится ко 2-й и 3-й зонам повышенного потенциала проявления и развития ветровой эрозии. При этом 2-я зона ветроэрозийного районирования представляет собой полупустынную зону с индексом сухости более 3,0 и суммой температур выше 10°C – более 3000°C. К 3-ей зоне относится степная часть региона с показателем сухости 1,0-3,0 и суммой температур более 2400°C [11].

Ярко выраженная континентальность климата Волгоградской области подтверждается рядом метеорологических факторов. Температура воздуха летом +40°C при относительной влажности 30%, зимой -30°C. Сумма осадков составляет в год 400-460 мм на севере области и 270 мм на уровне Волгограда. Гидротермический коэффициент по Селянинову составляет 0,4-0,8, число суховейных дней до 36. Засухи проявляются с вероятностью 30-33 % [21].

Почвы Волгоградской области малогумусные, маломощные, солонцеватые и малосвязные, что способствует развитию деградационных процессов. Легкие по гранулометрическому составу почвы при ветре более 20 м/с теряют мелкозема от 1,3 до 6,22 т/га в час. Каштановые почвы менее устойчивы к ветру, чем южные черноземы аналогичного гранулометрического состава [20]. Потенциал ветровой эрозии в Волгоградской области составляет в среднем 1,0-10 т/га, в отдельных случаях на песках и легких почвах вынос почвы может достигать 12-14 – 22-25 т/га и более.

Целью исследований было выявление влияния дефляционных процессов на экологическое равновесие агроландшафтов, механизма воздействия и поиск перспективных путей развития исследований, связанных с воздействием ветровой эрозии на почвы аридной зоны.

Результаты и обсуждение

Известно, что лесные насаждения и особенно полезащитные полосы играют важную роль в предотвращении дефляции почвы. [13; 17; 22]. Лесные насаждения обеспечивают достаточно высокий экологический эффект при формировании агроландшафтов [15; 18]. При этом не учитываются природная зональность и проектные параметры лесных насаждений.

Таким образом, существует широкий спектр исследовательских работ по выявлению возрастной динамики данного эффекта с учетом природных зон, почвенно-климатических условий произрастания и формирования лесных насаждений, пространственных параметров (расположение лесных насаждений). Аналогичный подход должен быть использован и при оценке почвозащитных свойств лесных насаждений на загрязненных и деградированных территориях. Необходимо определить динамику временных изменений параметров лесных насаждений и гибкость почв к дефляции, тип севооборота, технологию возделывания культур и климатические особенности. Все это должно способствовать разработке и внедрению информационных технологий, методов моделирования разнообразных природных и организационно-экономических процессов и принципов принятия управленческих решений.

Опыт прошлых лет показывает, что в основе планирования и проектирования лесомелиоративных мероприятий лежал учет проектной высоты лесных насаждений, определяемой условиями произрастания и породным составом. Однако публикаций о реализации этой идеи для различных лесных насаждений, схем смещения и лесорастительных условий нами не найдено. То же самое можно сказать и о других параметрах лесных насаждений, особенно на деградированных территориях.

Активное проявление ветровой эрозии в виде пыльных бурь продолжительностью до 8-12 дней характерно для юга Волгоградской области и всего Нижнего Поволжья. Наиболее интенсивные пыльные бури наблюдались в 1969, 1972, 1975, 1984, 2015 годах, когда вынос почвы достигал 20-50 т/га, гумуса 5-6 т/га [23] и сопровождался гибелью озимых культур.

Анализ дефляционных процессов в Волгоградской области показал, что хозяйственная деятельность человека усиливает эрозию почв, а имен-

но обработки почвы с оборотом почвы, частое использование дисковых орудий, высокая доля чистого пара, отсутствие защитных лесополос, чрезмерная нагрузка при выпасе скота.

Исследования показали, что при использовании классической технологии с отвальной обработкой дефляция составляет 31% и в целом деградация почвы значительно выше, что определяет низкую устойчивость агроландшафта, чем при комбинированной технологии и прямом посеве, соответственно 24 и 8 % [4]. Высокая устойчивость ландшафта установлена при технологии прямого посева, что подтверждается наименьшим процентом дефляции почвы по сравнению с другими агротехнологиями (рис. 1).

Особо следует отметить проявление дефляции почвы с 27 по 31 марта 2015 года при сильном и порывистом ветре до 22-24 м/с, затронувшем регионы юга РФ: Волгоград, Астрахань, восточную часть Ростовской области и Калмыкию. В ряде южных и центральных районов области снос почвы с пашни составил от 0,05-0,07 м до 0,09-0,11 м. Отложения почвы в лесополосах и дорожных канавах достигали от 0,32 до 1,12 м мелкозема, снос и перенос почвы с полей слаборазвитой озимой пшеницы и распаханых земель в лесополосы и овражно-балочные сети составил от 0,22 м до 1,24 м.

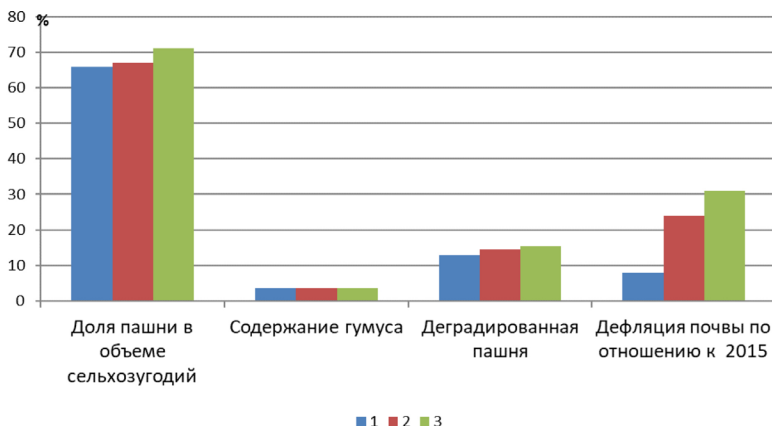


Рис. 1. Оценка агроэкологических показателей объектов исследования
1 – объект 1 (прямой посев), 2 – объект 2 (комбинированная агротехнология), 3 – объект 3 (классическая агротехнология)

Обследования по дефляции 2015 года показали, что ветровой эрозии по Волгоградской области подверглось около 460 тыс. га пашни в южных районах (Октябрьский, Светловский и Котельниковский), в том числе по-

страдали посевы озимой пшеницы на площади 132 тыс. га в фазе шилец (всходы), которые впоследствии были пересеяны яровыми культурами. В черноземной зоне дефляцией было охвачено около 590 тыс. га пашни, в том числе 212 тыс. га озимой пшеницы в фазе шилец (всходы).

Анализ выносимого мелкозема по фракциям механического состава показал, что в светло-каштановых почвах более высокому выносу подвержены частицы мельче 0,05-0,01 мм до 30,3 %, тогда как вынос более мелких фракций составил 11,28 % и 20,54 %. Процент более крупных фракций в сумме составил до 11,88 от общей массы выноса (табл. 1).

Таблица 1.

**Распределение дефляционного выноса почвы по фракциям
механического состава по Качинскому**

Фракция почвы по механическому составу, мм	чернозем южный, %	светло-каштановая почва, %
1,00 - 0,25	0,32	1,02
0,25 - 0,05	31,10	10,86
0,05 - 0,01	0,84	30,30
0,01 – 0,005	17,40	11,28
0,005 – 0,001	37,34	20,54
Менее 0,001	13,00	26,00
Физическая глина	70,6	57,8

В черноземе южном основную массу выноса составила фракция 0,005-0,001 до 37,34% и фракция 0,25-0,05 – до 31,10%, остальные фракции подвержены выносу в 2 раза меньше и составили от 13,00 до 17,40%.

В черноземной зоне отмечалась особенность разгона ветра вдоль реки Бузулук с выходом на левобережную террасу, где препятствием ветру становились лесные полосы поперек его движения. Нами условно были выделены три линии лесных полос шириной 8,0 м и высотой 8-10 м. Отмечено отложение мелкозема в первой линии 0,12-0,18 м, второй линии – 0,32-0,48 м и третьей – 0,80-1,21 м.

С наветренной стороны лесополосы 2-ой линии вынос мелкозема составил 0,15-0,26 м, с заветренной стороны – 0,28-0,66 м и в самой лесной полосе 0,45-0,84 м. Снижение гумуса почвы составило 0,6-1,2% в черноземной почве и 0,3- 0,7% в светло-каштановой почве по отношению к почве, не подверженной дефляции.

Ущерб экономике сельскохозяйственных предприятий области составил 27,6 млрд. рублей, в том числе от пересева озимых культур – 1,2 млрд.

рублей, от недобора урожая – 6,4 млрд. рублей, от снижения плодородия почв – 20 млрд. рублей. При пересчете ущерба на все Нижнее Поволжье цифра составляет 55,2 млрд. рублей.

Для предотвращения негативного воздействия перспективные исследования по проблеме дефляции могут включать следующие направления: изучение ветроэрозионного потенциала на территориях, в результате антропогенной деятельности; разработка ситуационных вопросов в связи с вариациями климата и глобальными его изменениями.

Одним из факторов дефляции почвы является климатология территории и ее рельеф [6; 16]. Сами по себе эти факторы являются более консервативными на фоне нелинейности изменения соответствия почвы ветру. Однако и они могут существенно изменить потенциал ветровой эрозии территории. Известно, что наветренные склоны подвержены большей дефляции, чем подветренные. Увеличение соотношения скорости ветра и сопротивления почвы дефляции также приводит к усилению выдувания мелкозема. Следовательно, на территории, подверженной чрезмерной антропогенной нагрузке, будет очевидна иная зональность потенциальной дефляции почвы, иной характер горизонтального переотложения мелкозема.

Для правильной агроэкологической лесомелиоративной организации территории, необходимо знать критические скорости ветра и эродируемость почвы. Для этого необходимо провести обширные исследования аэродинамических свойств почв, взятых с загрязненных и разрушенных территорий.

Основными противодефляционными средствами являются лесные и кустарниковые насаждения [1; 20]. Их эффективность зависит от высоты, густоты, сомкнутости, долговечности и размещения в пространстве [6]. Для решения проблемы проектирования эффективных агролесомелиоративных комплексов необходимо знать природу их формирования в условиях, измененных загрязнителями и деструктивными воздействиями, их таксационные и аэродинамические параметры в динамике во времени. Кроме того, параметры лесных и кустарниковых полос, а точнее их высота, густота и открытость за период ротации, изменяются в достаточно широком диапазоне [19], и тип и степень загрязнения территории также накладывают на это свой отпечаток.

Отдельно стоит упомянуть еще одну проблему, разработка которой также крайне перспективна. Это проблема рисков в продовольственной и ветроэрозионной сферах жизни в современных условиях и в связи с глобальным изменением климата, в которой агролесомелиорация будет играть

значительную роль. И, конечно, развитие информационных технологий здесь, как и в отмеченных выше случаях, станет основой для успешного прогнозирования поведения таких сложных систем, как лесомелиоративные комплексы.

Почвозащитные мероприятия, проводимые в районах ветровой эрозии страны, а также создание лесных насаждений в Нижнем Поволжье, существенно повлияли на процессы деградации почв от ветровой эрозии. При этом, как показала практика, трансформация сельскохозяйственных ландшафтов в зонах дефляции продолжается – меняется морфология почвенного профиля, агрегатный и гранулометрический состав, водно-физические и химические свойства почв [3]. Анализ показывает, что, несмотря на принимаемые меры, выдувание почв составляет в среднем 10 т/га и более в год [23]. Это означает, что толщина гумусового горизонта ежегодно уменьшается из-за выдувания почвы в среднем на 0,9 мм и более. Дифференциация происходит в пределах каждого поля на пашне и каждого объекта на пастбище.

Установлено, что при дефляции грунта крупные структурные агрегаты легко разрушаются до пылевидных частиц из-за снижения прочности агрегатов. Этот процесс также требует изучения.

В дефлированной почве по сравнению с недефлированной обнаруживается большее количество крупных агрегатов и меньшее количество мелких. В эоловых отложениях в основном преобладают частицы размером $0,25 \leq 1$ мм, частиц же размером 1-3 мм немного. Необходимо детальное изучение этого вопроса.

Представляет интерес также изучение причин снижения водоудерживающей способности дефлированных почв, влияющих на диапазон активного увлажнения.

На дефлированных участках изменяется и химический состав почв. Это связано с тем, что мелкие агрегаты (в первую очередь агрегаты $< 0,1$ мм) содержат основную массу гумуса, карбонатов, физической глины и питательных веществ для растений. С обнажением нижних горизонтов при дефляции в гумусе эродированных почв увеличивается относительное содержание фульвокислот. Необходимо изучить этот процесс в агролесоландшафте.

Из-за дефляционных процессов потери на землях, подверженных активной дефляции, составляют 10 т/га и более в год, что во много раз превышает уровень, компенсируемый почвообразованием. В слабдефляционных и умеренно дефляционных районах не добирается 15-20 и

25-30% урожая соответственно. Здесь заложена основная роль лесомелиорации, и ее следовало бы тщательно изучить.

Сложной проблемой в направлении рационального природопользования является определение экологически обоснованного соотношения земель. Это соотношение должно определяться конкретными ландшафтными условиями местности. Лесные насаждения являются экологическим каркасом территории. Однако сами по себе лесомелиоративные мероприятия не могут полностью обеспечить охрану почв. Она должна быть усилена почвозащитной энерго- и ресурсосберегающей системой земледелия. Поэтому развитие экологизированных почвосберегающих систем земледелия является приоритетной задачей. Для создания таких систем необходимо решить ряд проблем. Первая из них – защита от эрозии и дефляции. В значительной степени эта проблема решается за счет организации территории и создания адаптированных систем облесения. Также необходимы почвозащитная обработка и посев.

Лесные насаждения являются мощным антидеградационным средством. В настоящее время существует достаточно развитая сеть лесных насаждений на пашнях и пастбищах, в том числе на территориях Нижнего Поволжья, подверженных дефляции. В то же время нет объективных и строго обоснованных с точки зрения эффективной защиты почв от дефляции и экологически безопасных данных, отвечающих на вопрос, достаточно ли лесополос для устойчивости агроосферы перед стихией в период активных пыльных бурь.

Важным направлением исследований должна стать оценка рисков и решение проблемы продовольственной безопасности отдельных территорий и регионов, связанных с глобальным изменением климата, усилением вариативности погоды, проявлениями дефляции почв и, как следствие, значительными колебаниями урожайности сельскохозяйственных культур с применением сценарных цифровых технологий прогнозирования.

Заключение

Таким образом, дефляция почвы наиболее сильно проявилась при использовании классической агротехнологии – 31%, при комбинированном и прямом посеве соответственно 24 и 8%. Высокая экологическая устойчивость агроландшафта установлена при использовании технологии прямого посева. Ущерб экономике сельскохозяйственных предприятий региона составил 27,6 млрд рублей, в том числе за счет пересева озимых культур 1,2 млрд рублей, недобора урожая 6,4 млрд рублей и снижения плодородия

дия почв 20 млрд рублей. Определены перспективные направления исследований по проблеме дефляции, где необходимо разработать систему критериев оценки территорий аридной зоны Российской Федерации по отмеченным выше параметрам и разработать методы картографирования территорий и их районирования, что позволит выявить влияние всего комплекса антропогенного воздействия на свойства и структуру почв, их эродируемость, дефляционную активность и в целом на формирование экологически сбалансированных агроландшафтов, в том числе прогнозировать риски продовольственной безопасности.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания № 122020100312-0 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

Список литературы

1. Агролесомелиорация и плодородие почв / Павловский Е.С., Васильев Ю.И., Зайченко К.И. и др. М.: Агропромиздат, 1981. 288 с.
2. Беляков А.М., Васильев, Ю.И. Турко, С.Ю., Назарова, М.В. Пыльные бури в Волгоградской области, их проявление и борьба с ними // Нива Поволжья. 2019. №2. С.2-8.
3. Беляков А.М., Кошелев А.В. Особенности проявления деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны волгоградской области // Аридные экосистемы. 2023. Т.29, № 1 (94). С. 120-130.
4. Беляков А. М., Назарова М.В. Агроэкологическая оценка сбалансированности систем земледелия в зонах недостаточного увлажнения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 45-52. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-04>
5. Беляков А.М., Сарычев А.Н. Проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. Солёное Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2016. С. 721-727.
6. Васильев Ю.И. Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2003. 176 с.

7. Ветроустойчивость южных карбонатных и обыкновенных черноземов в агролесоландшафтах степной зоны России / Волошенкова Т.В., Дридигер В.К., Епифанова Р.Ф., Калашникова А.А., Оганджян А.А. // Аграрная наука. 2021. № 11-12. С. 104-108.
8. Волошенкова Т.В. Податливость почв дефляции в зависимости от свойств подстилающей поверхности // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 34-35.
9. Долгилевич М.И., Васильев Ю.И., Сажин А.Н. Системы лесных полос и ветровая эрозия. М.: Лесная промышленность, 1981. 160 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
11. Кальянов К.С. Динамика процессов ветровой эрозии почв. М.: Наука, 1976. 154 с.
12. Кирюшин В.И. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 80. С.16-25.
13. Кулик К.Н. Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 18-21.
14. Кулик К.Н., Кошелев А.В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7, № 3(27). С. 104-114.
15. Кулик К.Н., Пугачёва А.М. Лесомелиорация – основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения // Лесотехнический журнал. 2016. № 3. С. 29-40.
16. Кулик К.Н., Рулев А.С., Сажин А.Н. Глобальные процессы дефляции в степных экосистемах // Метеорология и гидрология. 2018. № 9. С. 72-80.
17. Манаенков А.С., Абакумова Л.И. Повышение эффективности полевых лесоразведения в острозасушливых районах России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4 (28). С. 73-83.
18. Манаенков А.С., Корнеева Е.А. Оценка эффективности лесомелиоративного обустройства пахотных земель Нижнего Поволжья, подверженных дефляции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. №4. С. 41-46.
19. Методика прогноза морфометрических характеристик и долговечности полевых защитных лесных полос / Васильев Ю.И., Абакумова Л.И., Гнидина И.С., Турко С.Ю., Варич О.С., Кретинин В. М. М.: РАСХН, 2005. 44с.

20. Методические указания по размещению полезащитных лесных полос в районах с активной ветровой эрозией / Долги́левич М.И., Васи́льев Ю.И., Са́жин А.Н. и др. М.: ВАСХНИЛ, 1984. 59 с.
21. Погодно-климатические условия Волгоградской области как объективный аргумент для активного развития здесь агролесомелиорации / Васи́льев, Ю.И., Са́жин, А.Н., Су́даков, А.В., На́зарова М.В. // Агролесомелиорация в 21 веке: состояние, проблемы, перспективы. Фундаментальные и прикладные исследования. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2015. С. 53-59.
22. Пугачёва А. М. Агролесомелиоративные системы – основа развития земледелия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. №1(49). С. 227-237.
23. Рулев А.С., Бе́ляков А.М., Са́рычев А. Н. Исследование проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2(42). С. 101-107.
24. Система оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия / Гости́ев А.В., Пыхтин И.Г., Нитченко Л.Б., Плотников В.А., Пыхтин А.И. // Земледелие. 2017. № 8. С. 3-7.
25. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Сохранение и оптимизация агроландшафтов Центрального Черноземья // Известия российской академии наук. Серия географическая. 2017. №4. С.103-109.
26. Усовершенствованные теоретические основы формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Масютенко Н.П., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В. и др. Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2015. 63 с.
27. Enhanced assessment of regional impacts from wind erosion by integrating particle size / Xu H., Wang Yu, Han T., Li R., Ma J., Qiu X., Ying L., Zheng H. // Catena. 2024. Vol. 239. 107937. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107937>
28. Estimating the indices of soil erodibility to wind erosion using pedo- and spectro-transfer functions in calcareous soils / Mina M., Rezaei M., Sameni A., Riksen M. J.P.M., Ritsema C. // Geoderma. 2023. Vol. 438, 116612. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116612>
29. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited / Pandey A., Himanshu S.K., Mishra S.K., Singh V.P. // Catena. 2016. Vol. 147. P. 595-620. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>
30. Soil deflation analyses from wind erosion events / Lackoová L., Urban T., Aydın E., Kozlovsky Dufkova Ja. // Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus. 2015. No 14. P. 75-83. <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2015.14.3.75>

31. Wind tunnel simulation of wind erosion and dust emission processes, and the influences of soil texture / Zuo X., Zhang C., Zhang X., Wang R., Zhao J., Li W. // International Soil and Water Conservation Research. 2024. Vol. 12, Issue 2. P. 455-466, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.005>

References

1. Pavlovskij E.S., Vasil'ev Yu.I., Zajchenko K.I. et al. *Agrolesomeliioracija i plodorodie pochv* [Agroforestry and soil fertility]. Moscow: Agropromizdat, 1981, 288 p.
2. Belyakov A.M., Vasiliev Yu.I., Turco S.Yu., Nazarova M.V. Pyl'nye buri v Volgogradskoj oblasti, ih pojavlenie i bor'ba s nimi [Dust storms in the Volgograd region, their manifestation and prevention]. *Niva Povolzh'ja*, 2019, no. 2, pp. 2-8.
3. Belyakov A.M., Koshelev A.V. Osobennosti pojavlenija degradacionnyh processov v agrolandshaftah suhostepnoj zony volgogradskoj oblasti [Peculiarities of manifestation of degradation processes in agricultural landscapes of the dry steppe zone of the Volgograd region]. *Aridnye jekosistemy*, 2023, vol. 29, no. 1 (94), pp. 120-130.
4. Belyakov A.M., Nazarova M.V. Agrojekologicheskaja ocenka sbalansirovannosti sistem zemledelija v zonah nedostatochnogo uvlazhnenija [Agroecological assessment of the agricultural systems balance in areas of insufficient humidification]. *Izvestija Nizh-nevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, vol. 1 (61), pp. 45-52. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-04>
5. Beljakov A.M., Sarychev A.N. Projavlenija defljacii pochv v uslovijah Volgogradskoj oblasti [Manifestations of soil deflation in the Volgograd region]. *Sovremennoe jekologicheskoe sostojanie prirodnoj sredy i nauchno-prakticheskie aspekty racional'nogo prirodopol'zovanija. Solenoe Zajmishhe: Prikaspijskij nauchno-issledovatel'skij institut aridnogo zemledelija* [Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management. Solene Zaimishche: Caspian Research Institute of Arid Agriculture]. 2016, pp. 721-727.
6. Vasiliev Yu.I. *Jeffektivnost' sistem lesnyh polos v bor'be s defljaciej pochv* [The effectiveness of forest belt systems in combating soil deflation]. Volgograd: VNIALMI, 2003, 176 p.
7. Voloshenkova T.V., Dridiger V.K., Epifanova R.F., Kalashnikova A.A., Ogandzhanyan A.A. Vetrustojchivost' juzhnyh karbonatnyh i obyknovennyh chernozemov v agrolesolandshaf-tah stepnoj zony Rossii [Wind resistance of southern carbonate and ordinary chernozems in agroforest landscapes of the steppe zone of Russia]. *Agrarnaja nauka*, 2021, no. 11-12, pp. 104-108.

8. Voloshenkova T.V. Podatlivost' pochv defljacii v zavisimosti ot svoystv podstilajushhej poverhnosti [Soil compliance to deflation depending on the properties of the underlying surface]. *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk*, 2012, no. 1, pp. 34-35.
9. Dolgilevich M.I., Vasiliev Yu.I., Sazhin A.N. *Sistemy lesnyh polos i vetrovaja jerozija* [Forest belt systems and wind erosion]. Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1981, 160 p.
10. Dosphehov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment methodology]. Moscow: Kolos, 1979, 416 p.
11. Kalyanov K.S. *Dinamika processov vetrovoj jerozii pochv* [Dynamics of wind erosion processes of soils]. Moscow: Nauka, 1976, 154 p.
12. Kiryushin V.I. Razvitie predstavleniy o funktsiyakh landshaftov v svyazi s zadachami optimizatsii prirodopol'zovaniya [The development of ideas about the functions of landscapes in connection with the tasks of optimizing nature management]. *Byulleten' pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*, 2015, no. 80, pp. 16-25.
13. Kulik K.N. Zashhitnye lesnye nasazhdeniya – osnova jekologicheskogo karkasa agroteritorij [Protective forest plantings are the basis of the ecological framework of agricultural territories]. *Vestnik rossijskoj sel'skhozajstvennoj nauki*, 2018, no. 1, pp. 18-21.
14. Kulik K.N., Koshelev A.V. Metodicheskaja osnova agrolesomeliorativnoj ocenki zashhitnyh lesnyh nasazhdenij po dannym distancionnogo monitoringa [Methodological basis of agroforestry assessment of protective forest stands according to remote monitoring data]. *Forestry journal*, 2017, vol. 7, no. 3(27), pp. 104-114.
15. Kulik K.N., Pugacheva A.M. Lesomelioracija – osnova sozdanija ustojchivyh agrolandshaftov v uslovijah nedostatochnogo uvlazhnenija [Forest reclamation – the basis for arrangement of sustainable agrolandscapes in conditions of insufficient moistening]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2016, no. 3, pp. 29-40.
16. Kulik K.N., Rulev A.S., Sazhin A.N. Global'nye processy defljacii v stepnyh jekosistemah [Global processes of deflation in steppe ecosystems]. *Meteorologija i gidrologija*, 2018, no. 9, pp. 72-80.
17. Manaenkov A.S., Abakumova L.I. Povyshenie jeffektivnosti polezashhitnogo lesorazvedeniya v ostrozasushlivykh rajonah Rossii [Increase in efficiency of field-protective forestations in critical droughty regions of Russia]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie*, 2015, no. 4 (28), pp. 73-83.
18. Manaenkov A.S., Korneeva E.A. Ocenka jeffektivnosti lesomeliorativnogo obustrojstva pahotnyh zemel' Nizhnego Povolzh'ja, podverzhennyh defljacii

- [Assessment of the effectiveness of forest reclamation of arable lands in the Lower Volga region subject to deflation]. *Izvestija Nizh-nevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2012, no. 4, pp. 41-46.
19. Vasil'ev Yu.I., Abakumova L. I., Gnidina I. S., Turko S.Yu., Varich O. S., Kretinin V. M. *Metodika prognoza morfometricheskikh kharakteristik i dolgovechnosti polezashchitnykh lesnykh polos* [Methodology for predicting morphometric characteristics and durability of protective forest strips]. Moscow: RASKHN, 2005, 44 p.
 20. Dolgilevich M.I., Vasiliev Ju.I., Sazhin A.N. et al. *Metodicheskie ukazaniya po razmeshheniju polezashchitnykh lesnykh polos v rajonah s aktivnoj vetrovoj jeroziej* [Methodical guidelines for the placement of field protective forest strips in areas of active wind erosion]. Moscow: VASHNIL, 1984, 59 p.
 21. Vasiliev Yu.I., Sazhin A.N., Sudakov A.V., Nazarova M.V. Pogodno-klimaticheskie uslovija Volgogradskoj oblasti kak obektivnyj argument dlja aktivnogo razvitiya zdes' agrolesomelioracii [Weather and climatic conditions of the Volgograd region as an objective argument for the active development of agroforestry here]. *Agrolesomelioracija v 21 veke: sostojanie, problemy, perspektivy. Fundamental'nye i prikladnye issledovanija* [Agroforestry in the 21st century: status, problems, prospects. Fundamental and applied research]. Volgograd: VNIALMI, 2015, pp. 53-59.
 22. Pugacheva A. M. Agrolesomeliorativnye sistemy – osnova razvitiya zemledelija [Agroforestry systems are the basis for the development of agriculture]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2018, no. 1(49), pp. 227-237.
 23. Rulev A.S., Belyakov A.M., Sarychev A. N. Issledovanie projavljenija defljacii pochv v uslovijah Volgogradskoj oblasti [Study of the manifestation of soil deflation in the conditions of the Volgograd region]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2016, no. 2(42), pp. 101-107.
 24. Gostev A.V., Pykhtin I.G., Nitchenko L.B., Plotnikov V.A., Pykhtin A.I. Sistema ocenki jekologicheskoy sbalansirovannosti agrolandschafta i stepeni so-otvetstvija ispol'zuemoj v nem sistemy zemledelija [Evaluation system of ecological balance in an agricultural landscape and the degree of conformity to the used farming system]. *Zemledelie*, 2017, no. 8, pp. 3-7.
 25. Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. Sohranenie i optimizacija agro-landschaftov Central'nogo Chernozem'ja [Preservation and Optimization of Agrolandscapes of the Central Chernozem Zone]. *Izvestija Rossijskoj Akademii nauk. Serija geograficheskaja*, 2017, no. 4, pp. 103-109.

26. Masyutenko N.P., Bakhirev G.I., Kuznetsov A.V. Chuyan, N.A., Breskina, G.M., Dubovik E.V., Masyutenko M.N., Priputneva M.A. *Usovershenstvovannyye teoreticheskie osnovy formirovaniya jekologicheski sbalansirovannyh agrolandshaftov* [Improved theoretical basis for the formation of ecologically balanced agrolandscapes]. Kursk: FGBNU VNIIZiPJe, 2015, 63 p.
27. Enhanced assessment of regional impacts from wind erosion by integrating particle size / Xu H., Wang Yu, Han T., Li R., Ma J., Qiu X., Ying L., Zheng H. *Catena*, 2024, vol. 239, 107937. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107937>
28. Estimating the indices of soil erodibility to wind erosion using pedo- and spectro-transfer functions in calcareous soils / Mina M., Rezaei M., Sameni A., Riksen M. J.P.M., Ritsema C. *Geoderma*, 2023, vol. 438, 116612. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116612>
29. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited / Pandey A., Himanshu S.K., Mishra S.K., Singh V.P. *Catena*, 2016, vol. 147, pp. 595-620. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>
30. Soil deflation analyses from wind erosion events / Lackoová L., Urban T., Aydın E., Kozlovsky Dufkova Ja. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiec-tus*, 2015, no 14, pp. 75-83. DOI:10.15576/ASP.FC/2015.14.3.75
31. Wind tunnel simulation of wind erosion and dust emission processes, and the influences of soil texture / Zuo X., Zhang C., Zhang X., Wang R., Zhao J., Li W. *International Soil and Water Conservation Research*, 2024, vol. 12, issue 2, pp. 455-466, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.005>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Назарова Марина Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах *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* mn1967@list.ru

Беляков Александр Михайлович, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах

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

dokbam49@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Marina V. Nazarova, Junior Researcher of Laboratory of Agrotechnologies and Farming Systems in Agroforestry Landscapes

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

mn1967@list.ru

SPIN-code: 6326-0980

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7933-3152>

Scopus Author ID: 57214107479

Alexander M. Belyakov, Dr. of Agri. Sc., Professor, Head Researcher of the Laboratory of Agrotechnologies and Farming Systems in Agroforestry Landscapes

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

dokbam49@mail.ru

SPIN-code: 3306-4100

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9541-8383>

Scopus Author ID: 57222722415

Поступила 15.04.2024

После рецензирования 27.05.2024

Принята 09.06.2024

Received 15.04.2024

Revised 27.05.2024

Accepted 09.06.2024