

DOI: 10.58168/GrEGrR2026_468-476

УДК 338.43:502.131.1

**«ЗЕЛЁНЫЕ» ПРАКТИКИ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ: ПОТЕНЦИАЛ СНИЖЕНИЯ
УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)**

**«GREEN» PRACTICES IN AGRICULTURAL LAND USE: POTENTIAL FOR
CARBON FOOTPRINT REDUCTION AND EFFICIENCY IMPROVEMENT (CASE STUDY
OF THE VORONEZH REGION)**

Яковенко Н.В., д.г.н., профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Yakovenko N.V., Doctor of Geographical Sciences, Professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Комов И.В., кандидат географических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Komov I.V., Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Суховерхов О.С., аспирант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Sukhoverkhov O.S., Postgraduate Student of the Department of Ecology, Forest Protection and Forest Hunting Management Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Колотушкин А.А., аспирант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Kolotushkin A.A., Postgraduate Student of the Department of Ecology, Forest Protection and Forest Hunting Management Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Аннотация: На примере Воронежской области оценены масштабы внедрения «зелёных» практик в землепользовании, проанализирована пространственная дифференциация экологической нагрузки от растениеводства и животноводства, рассчитан потенциал снижения углеродного следа. Показано, что посевная площадь достигла 2,6 млн

га, доля органических хозяйств (18 сертифицированных) остаётся крайне низкой. Удельный углеродный след растениеводства варьирует от 100 кг до 1 т CO₂-экв/га. Крупные животноводческие комплексы западных районов генерируют основной объём парниковых газов, тогда как эрозионно-опасные и деградированные земли (>1,6 млн га) сосредоточены на восточной периферии. Переход к «зелёному» землепользованию способен сократить углеродный след региона на 15–25%.

Abstract: Using Voronezh Oblast as a case study, the article assesses the extent of “green” practices in agricultural land use, analyzes the spatial differentiation of the environmental burden from crop and livestock production, and estimates the potential for reducing the carbon footprint. It is shown that the total sown area has reached 2.6 million hectares, while the share of organic farms (18 certified) remains extremely low. The specific carbon footprint of crop production ranges from 100 kg to 1 t CO₂-eq/ha. Large livestock complexes in the western districts generate the bulk of greenhouse gas emissions from animal husbandry, whereas erosion-prone and degraded lands (>1.6 million ha) are concentrated in the eastern periphery. A transition to “green” land use could reduce the region’s carbon footprint by 15–25%.

Ключевые слова: зелёная экономика, углеродный след, органическое земледелие, деградация почв, секвестрация углерода, парниковые газы, сидеральные пары, Воронежская область.

Keywords: green economy, carbon footprint, organic farming, soil degradation, carbon sequestration, greenhouse gases, green manure fallow, Voronezh Oblast.

Введение

В условиях глобальной климатической повестки сельскохозяйственное землепользование оказывается в центре противоречия: аграрный сектор одновременно является источником парниковых газов и обладает значительным потенциалом их абсорбции [1]. Воронежская область — модельный регион для изучения этой дилеммы, так как распаханность территории достигает 78–80%, а площадь сельхозугодий превышает 4 млн га. Цель работы — оценка текущих практик землепользования с позиций зелёной экономики, расчёт углеродного следа и определение потенциала его снижения.

Материалы и методы

Использованы данные Воронежстата (2020–2024) [2], Министерства сельского хозяйства Воронежской области, Россельхознадзора и спутниковые снимки Sentinel-2 (2024 г., разрешение 10 м). Расчёт углеродного следа (CF, т CO₂-экв/га) выполнен по формуле:

$$CF = CF_N + CF_{OM} + CF_M + CF_S$$

где:

CF_N — эмиссия от азотных удобрений,

CF_{OM} — от органических удобрений,

CF_M — от сжигания топлива,

CF_S – изменение запасов углерода в почве (секвестрация со знаком «–») [3]. Для животноводства использованы коэффициенты Cool Farm Tool [4,5]. Картографирование выполнено в QGIS 3.34.

Результаты

В 2025 г. общая посевная площадь в Воронежской области достигла 2,60 млн га, что на 0,12 млн га больше, чем в 2020 г. (рис. 1). Основу структуры посевов традиционно составляют зерновые культуры (1,32 млн га, или 50,8% от всей посевной площади). Доля подсолнечника увеличилась с 0,44 млн га в 2020 г. до 0,55 млн га в 2025 г., что связано как с благоприятной рыночной конъюнктурой, так и с переориентацией части площадей после гибели озимых. Посевы сахарной свёклы остаются стабильными (0,13 млн га). Площади, занятые сидеральными парами и многолетними травами, выросли с 0,02 до 0,07 млн га, однако их доля в общем землепользовании не превышает 3%, что свидетельствует о слабом внедрении почвозащитных и «зелёных» технологий. На фоне экстенсивного роста пашни распространение органического земледелия остаётся крайне ограниченным. Количество сертифицированных органических хозяйств в регионе составляет 18 (на начало 2025 г.), что является наибольшим показателем среди субъектов РФ, однако в пересчёте на площадь пашни их доля не превышает 0,3%.

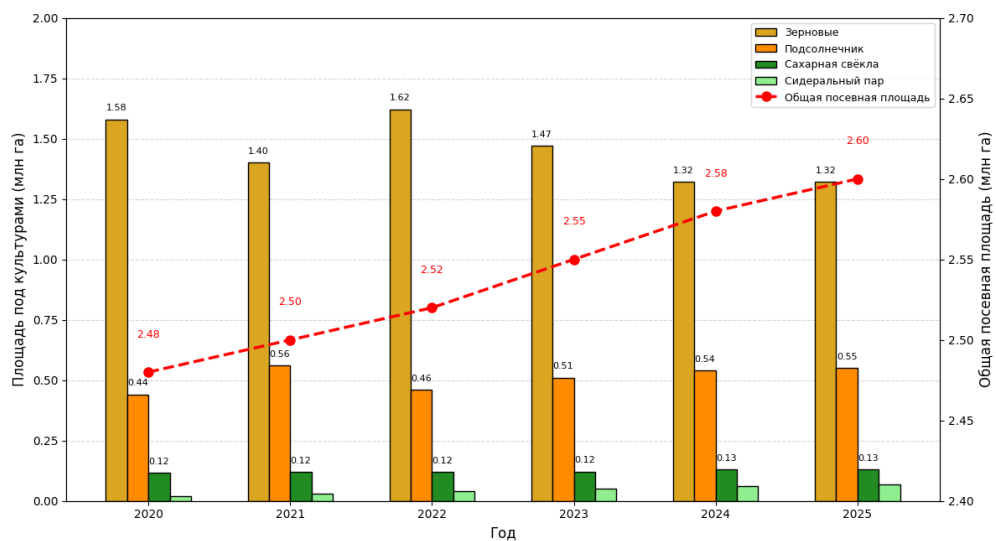


Рис. 1. Динамика посевных площадей и структуры основных культур в Воронежской области, 2020–2025 гг.

В рамках традиционной агротехнологии, предполагающей проведение вспашки и интенсивное внесение минеральных удобрений, наибольшие значения углеродного следа отмечены для сахарной свёклы (0,95 т CO₂-экв/га) и озимой пшеницы (0,85 т CO₂-экв/га). Минимальные показатели зафиксированы для многолетних трав (0,10–0,15 т CO₂-экв/га), что объясняется отсутствием ежегодной обработки почвы и незначительной потребностью

данных культур в азотных удобрениях. На Рисунке 2 представлено влияние различных агротехнологий на углеродный след основных сельскохозяйственных культур (т CO₂-экв/га). Расчёты выполнены на основании методики Cool Farm Tool с применением региональных коэффициентов.

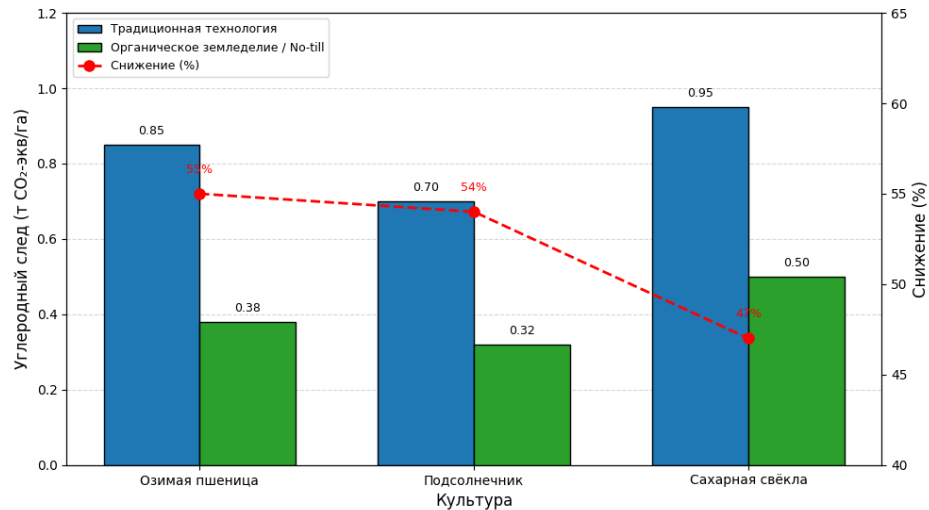


Рис.2. Влияние агротехнологий на углеродный след основных культур (т CO₂-экв/га)
Рассчитано по методике Cool Farm Tool с региональными коэффициентами.

Переход к органическому земледелию или внедрение технологий минимальной и нулевой обработки почвы (no-till) позволяет снизить углеродный след на 47–55%. Ключевыми факторами сокращения являются отказ от синтетических азотных удобрений, что приводит к уменьшению эмиссии закиси азота (N₂O), а также снижение частоты механических обработок, способствующее сокращению расхода дизельного топлива. Наряду с растениеводством, существенный вклад в эмиссию парниковых газов вносит животноводческий комплекс. По состоянию на 2024 год поголовье крупного рогатого скота в регионе составляет 424,9 тыс. голов, а свиней — 1989,6 тыс. голов. При этом основные объёмы производства свинины и мяса птицы сосредоточены в крупных промышленных комплексах, локализованных в Бобровском, Павловском, Лискинском и Новоусманском районах. Эти же территории характеризуются наибольшей удельной эмиссией парниковых газов от животноводства — от 300 до 450 т CO₂-экв на 100 га сельхозугодий (рис.3). Напротив, в восточных и юго-восточных районах (Петропавловский, Терновский, Эртильский, Каменский) удельная эмиссия не превышает 30–80 т CO₂-экв/100 га, что обусловлено отсутствием крупных животноводческих предприятий и преобладанием мелкотоварного сектора.

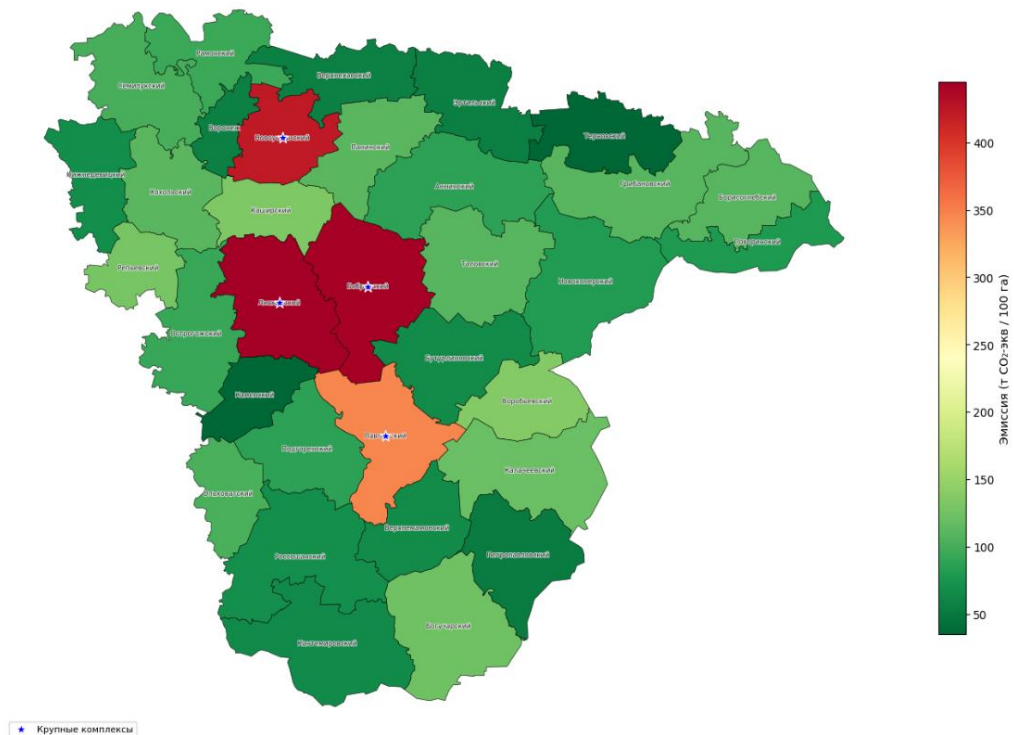


Рис.3. Удельная эмиссия парниковых газов от животноводства (т CO₂-экв / 100 га сельхозугодий), 2024 г.

Цветовая шкала: от зелёного (низкая эмиссия) до красного (высокая). Синими звёздочками отмечены районы с крупными животноводческими комплексами.

Оценка состояния почвенного покрова по спутниковым данным (NDVI) выявила устойчивые зоны низкой вегетационной активности, соответствующие эродированным и деградированным землям. Наиболее низкие значения NDVI (0,20–0,35) зафиксированы в Калачеевском, Аннинском, Острогжском, Верхнемамонском, Петропавловском, Терновском и Эртильском районах. Именно здесь сосредоточены основные очаги водной эрозии – действующие овраги, участки с потерей гумусового горизонта, а также наиболее частые случаи зарастания пашни сорной растительностью, зафиксированные Россельхознадзором (более 1,6 млн га нарушенных и эродированных земель в целом по области). Пространственная асимметрия очевидна: западные и центральные районы, где расположены крупные животноводческие комплексы и интенсивное растениеводство, имеют сравнительно высокие NDVI (0,5–0,7), тогда как восточная периферия характеризуется сочетанием низкой продуктивности земель и высокой эрозионной опасности.

На основе построенной линейной регрессионной модели выполнено прогнозирование совокупного углеродного следа от сельскохозяйственного землепользования (рис. 4).

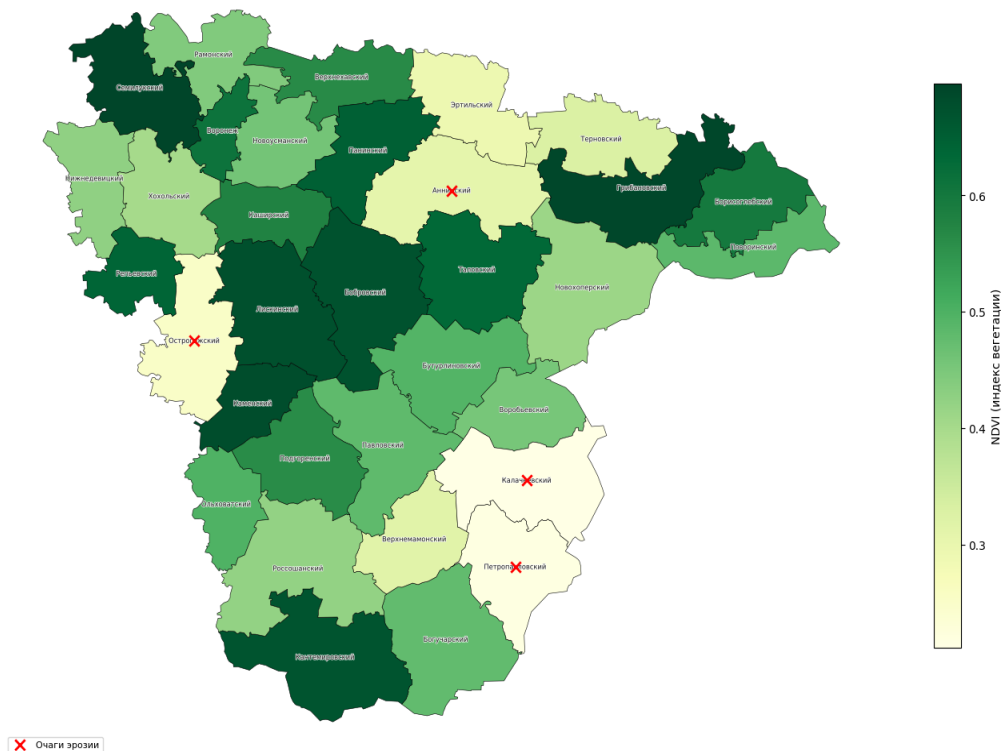


Рис.3. Зоны деградации почв и очаги эрозии (NDVI по данным Sentinel-2, 2024 г.)

Более тёмные оттенки зелёного соответствуют более высоким значениям NDVI (здоровой вегетации). Красными крестами отмечены районы с активными очагами эрозии.

При сохранении существующих тенденций (базовый сценарий) углеродный след возрастёт с 4,8 млн т CO₂-экв в 2024 г. до 5,2 млн т CO₂-экв к 2030 г. (+8%). Реализация «зелёного» сценария, включающего масштабирование органического земледелия до 50–60 хозяйств (10–12% пашни), перевод 30% пашни на no-till и рекультивацию 200 тыс. га деградированных земель, позволит снизить след до 3,7 млн т CO₂-экв (–23% относительно уровня 2024 г.). Дополнительным эффектом выступит ежегодная секвестрация углерода в почвах в объёме до 1,2–1,5 млн т CO₂-экв. (рис.5). Полученные результаты свидетельствуют о двойственной природе аграрного сектора региона: высокая продуктивность сочетается с экстенсивной моделью, усугубляющей деградацию почв и выбросы ПГ. Количество органических хозяйств в Воронежской области – наибольшее в РФ (18), но их доля ничтожна по сравнению с европейскими странами (8–10%). Основной потенциал сокращения выбросов лежит в животноводстве (биогазовые установки, разделение навоза).

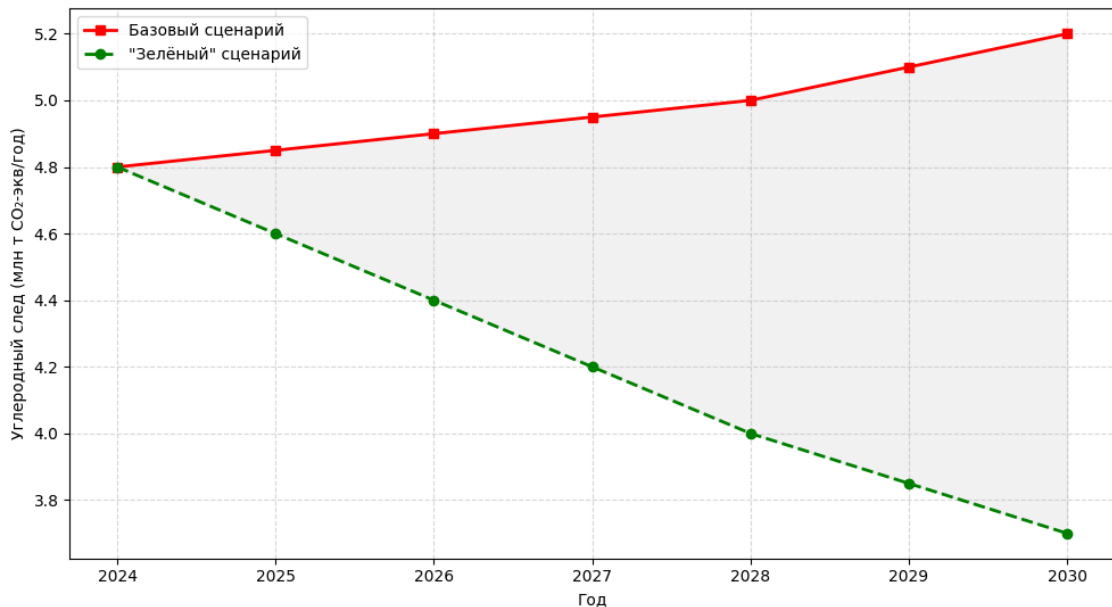


Рис. 5. Прогноз совокупного углеродного следа от сельскохозяйственного землепользования в Воронежской области, 2024–2030 гг.

Сплошная красная линия – базовый сценарий, пунктирная зеленая – «зеленый» сценарий, серая заливка – диапазон возможного сокращения.

4. Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о двойственной природе аграрного сектора региона: высокая продуктивность сочетается с экстенсивной моделью, усугубляющей деградацию почв и выбросы ПГ. Количество органических хозяйств в Воронежской области – наибольшее в РФ (18), но их доля ничтожна по сравнению с европейскими странами (8–10%). Основной потенциал сокращения выбросов лежит в животноводстве (биогазовые установки, разделение навоза). Пространственная асимметрия требует дифференцированной политики: для западных районов – декарбонизация животноводства, для восточных – борьба с эрозией и рекультивация.

Заключение

По состоянию на 2025 год общая посевная площадь в Воронежской области достигла 2,6 млн га, при этом доля сертифицированных органических хозяйств составляет менее 0,3% от обрабатываемых земель, что указывает на крайне низкий уровень внедрения принципов органического земледелия в регионе. Удельный углеродный след растениеводства варьируется в широком диапазоне – от 0,1 т CO₂-экв/га для многолетних трав до 1,0 т CO₂-экв/га для интенсивного производства сахарной свёклы и зерновых культур. Основными источниками эмиссии выступают применение минеральных азотных удобрений и затраты топлива на механическую обработку почвы. Пространственный анализ показывает ярко выраженную асимметрию экологической нагрузки. Крупные животноводческие комплексы, расположенные в западных и центральных районах

(Бобровский, Павловский, Лискинский, Новоусманский), генерируют основной объём парниковых газов от животноводства. Напротив, зоны деградированных и эродированных земель общей площадью более 1,6 млн га сосредоточены преимущественно на восточной и юго-восточной периферии региона.

Реализация «зелёного» сценария, включающего масштабирование органического земледелия, расширение сидеральных паров, переход на технологии no-till и рекультивацию деградированных земель, позволит к 2030 году сократить совокупный углеродный след сельскохозяйственного землепользования на 23% – с 4,8 до 3,7 млн т CO₂-экв в год. В качестве приоритетных мер рекомендованы субсидирование строительства биогазовых установок на крупных животноводческих комплексах, перевод эродированной пашни в залежи, расширение площадей сидеральных паров и создание регионального реестра углеродных единиц для включения в федеральный углеродный рынок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Углеродный след сельского хозяйства / Б. А. Краснаярова [и др.] // География и природные ресурсы. 2025. – Т. 46, № 1. – С. 164–175. – URL: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=190153&ARTICLE_ID=190169.
2. Воронежстат. Показатели экономического и социального развития городских округов и муниципальных районов Воронежской области : статистический сборник. – Воронеж, 2025. – 312 с.
3. Calvo Buendia E. et al. (eds). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. – IPCC, Switzerland, 2019. – URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html> (дата обращения: 24.04.2026).
4. Cool Farm Tool. An online greenhouse gas, water, and biodiversity calculator. – URL: <https://coolfarm.org/the-tool/> (дата обращения: 24.04.2026).
5. Hillier J. et al. A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production // Environmental Modelling & Software. 2011. Vol. 26, No. 9. P. 1070–1075. – URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-modelling-and-software> (дата обращения: 24.04.2026).

REFERENCES

1. Krasnoyarova B. A. and others. The carbon footprint of agriculture // Geography and natural resources. 2025. Vol. 46, No. 1. pp. 164-175. URL: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=190153&ARTICLE_ID=190169.
2. Voronezhstat. Indicators of economic and social development of urban districts and municipal districts of the Voronezh region : Statistical collection. – Voronezh, 2025. – 312 p.
3. Calvo Buendia E. et al. (eds). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. – IPCC,

Switzerland, 2019. – URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html> (date of access: 04/24/2026).

4. Cool Farm Tool. An online greenhouse gas, water, and biodiversity calculator. – URL: <https://coolfarm.org/the-tool/> (date of access: 04/24/2026).

5. Hillier J. et al. A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production // Environmental Modelling & Software. 2011. Vol. 26, No. 9. P. 1070-1075. – URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-modelling-and-software> (date of request: 04/24/2026).