

EDN: HLRDVV

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-59-65

Научная статья
УДК 631.95+631.17

Оценка негативного влияния технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду

Нозим Исмоилович Джабборов,
доктор технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: nozimjon-59@mail.ru;

Александр Владимирович Добринов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: a.v.dobrinov@yandex.ru;

Владимир Иванович Шамонин,
кандидат технических наук,
ведущий специалист,
e-mail: shamonin-75@mail.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Основной причиной усиления антропогенного воздействия на окружающую среду является интенсификация производства, вызванная значительным вложением материальных ресурсов и средств для увеличения объемов и повышения экономической эффективности продукции растениеводства. Анализ, оценка, прогнозирование и управление антропогенным воздействием интенсивных машинных технологий на окружающую среду становятся приоритетными задачами научных исследований. (*Цель исследования*) Разработка математической модели для комплексной оценки степени негативного влияния технологических процессов на окружающую среду. (*Материалы и методы*) Исследования выполнялись на основе анализа научных публикаций и нормативных документов по оценке негативного воздействия технологических процессов интенсивных агротехнологий. Основными показателями экологической оценки технологических процессов на агроэкосистему определены: содержание пестицидов в почве, доза внесения и неравномерность распределения в почве удобрений, содержание эрозионно-опасных почвенных частиц. (*Результаты и обсуждение*) В качестве обобщенного критерия оценки степени негативного влияния предложен вероятностный коэффициент, который стремится к единице. Получена математическая модель, на основании которой произведены расчеты по определению возможного негативного воздействия технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду. (*Выводы*) Результаты исследования показали, что при отсутствии значимого негативного влияния технологических процессов на окружающую среду значение вероятностного критерия меньше или равно единице. При наличии негативного влияния процессов на окружающую среду значение коэффициента больше единицы, в этом случае необходимо минимизировать негативные антропогенные последствия на природную среду.

Ключевые слова: окружающая среда, антропогенное воздействие, растениеводство, технологический процесс, экологическая оценка.

■ **Для цитирования:** Джабборов Н.И., Добринов А.В., Шамонин В.И. Оценка негативного влияния технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. N3. С. 59-65. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-59-65. EDN: HLRDVV.

Scientific article

Assessment of the Negative Environmental Impact of Technological Processes in Crop Production

Nozim I. Dzhabborov,
Dr.Sc.(Eng.), leading researcher,
e-mail: nozimjon-59@mail.ru;

Aleksandr V. Dobrinov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: a.v.dobrinov@yandex.ru

Vladimir I. Shamonin,
Ph.D.(Eng.), leading specialist,
e-mail: shamonin-75@mail.ru

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The primary factor contributing to the increase in anthropogenic impact on the environment is the intensification of agricultural production, driven by substantial investments of material resources and financial capital aimed at increasing output and enhancing the economic efficiency of crop production. As a result, the analysis, assessment, forecasting, and management of the anthropogenic impact of intensive mechanized technologies are becoming priority areas of scientific research. (*Research purpose*) This study aims to develop a mathematical model for the comprehensive assessment of the negative environmental impact caused by technological processes in agriculture. (*Materials and methods*) The research is based on the analysis of scientific publications and regulatory documents concerning the environmental impact assessments of technological processes in intensive agricultural systems. Key indicators used for evaluating the environmental impact in agroecosystems include soil pesticide concentration, fertilizer application rate and distribution uniformity, as well as the presence of erosion-prone soil particles. (*Results and discussion*) A generalized criterion, the probabilistic coefficient ψ_{TP} , which tends toward unity, was proposed to assess the degree of negative environmental impact. A mathematical model was developed to calculate the potential environmental impact of technological processes in crop production. (*Conclusions*) The results indicate that if the technological processes cause no significant negative impact on the environment, the value of the coefficient is less than or equal to one. If exceeds one, it signals a negative environmental effect and the need for mitigation measures to minimize anthropogenic pressure on the natural environment.

Keywords: environment, anthropogenic impact, crop production, technological process, environmental assessment

■ **For citation:** Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Shamonin V.I. Assessment of the negative environmental impact of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N3. 59-65 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-59-65. EDN: HLRDVV.

Одной из основных причин усиления антропогенного воздействия на окружающую среду за последнее десятилетие является интенсификация производства, вызванная значительным вложением материальных ресурсов и средств для увеличения объемов и повышения экономической эффективности производимой продукции растениеводства. Несмотря на существующие требования экологической безопасности и качества продукции, предъявляемые к современным технологиям в отрасли растениеводства, их неблагоприятное влияние на агроэкосистему представляется реальным [1, 2].

Вред, наносимый природе при внедрении современных агротехнологий, невозможно полностью устранить, однако способы его снижения существуют и они должны быть экономически эффективными. Принимаемые решения должны исходить из того, чтобы не были превышены пределы вредного воздействия на агроэкосистему. В противном случае возникает экологический риск техногенного характера от воздействия агротехнологий с нарушением установленных норм.

Уровень организации производства продукции на сельскохозяйственном предприятии оказывает прямое влияние на величину экологических рисков, так как учитывает объемы и качество веществ и материалов, используемых в технологическом процессе. Управление природоохранной деятельностью приобретает статус приоритетной и острой проблемы, поскольку сложно одновременно сохранять темп экономического роста и минимизировать воздействия на среду. Возрастание антропогенных нагрузок, как угроза воспроизводству природных ресурсов и негативных последствий для населения, обеспечение продовольственной безопасности и не-

зависимости, снижение технологических рисков в АПК являются важнейшими вызовами, изложенными в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Анализ, оценка, прогнозирование и управление антропогенным воздействием интенсивных машинных технологий на основе изучения тенденций в области экологизации системы природопользования, перспектив хозяйственного и научно-технического развития становятся приоритетными задачами научных исследований.

Все процессы в растениеводстве являются составными частями любой технологии производства продукции. Влияние каждого из них на окружающую среду может быть оценено по ряду показателей, например, качеству и срокам выполнения работ, составу технических средств, надежности, безопасности и т.д. Анализ изученных литературных источников о влиянии технологических процессов на агроэкосистему выявил наиболее существенные показатели в сфере обеспечения безопасности агротехнологий. Среди существенных факторов рассматриваются: содержание пестицидов в почве, доза внесения и неравномерность распределения в почве удобрений, содержание эрозионно-опасных почвенных частиц.

Использование пестицидов при возделывании сельскохозяйственных культур влечет за собой риск загрязнения почвы, нарушение баланса биоценозов внутри экосистем, в частности почвенных микроорганизмов, которые обеспечивают рост, развитие и экологическую адаптацию растений к стрессовым условиям [3].

Превышение содержания пестицидов в почве после использования средств защиты растений (СЗР)

оценивается на основе сопоставления их предельно допустимой концентрации (ПДК) с фактическим содержанием в почве (в мг/кг). Поскольку количественный метод определения пестицидов достаточно трудоемкий, некоторые исследователи предлагают использовать косвенный подход на основе определения величины сносов на почву с помощью седиментационных проб [4].

Неблагоприятное действие различных видов применяемых удобрений на различные компоненты агроценозов проявляется, прежде всего, в загрязнении самих почв, поверхностных и грунтовых вод, нарушении баланса питательных веществ, что приводит к ухудшению агрохимических свойств, фитосанитарного состояния сельскохозяйственных угодий, развитию заболеваний, снижению продуктивности возделываемых культур, соответственно, качества готовой продукции [5].

Высокие дозы минеральных удобрений порождают негативные явления в жизнедеятельности почвенной биоты, нарушаются процессы трансформации органического вещества, как одного из основных показателей поддержания почвенного плодородия. При этом повышается доля болезнетворных агентов (патогенов) в структуре микробного ценоза. Появляется опасность образования микотоксинов в почве и продуктах питания [6, 7].

При выполнении технологического процесса внесения удобрений одним из важных показателей является неравномерность их распределения в почвенном слое, которая зависит от конструктивных характеристик рабочих органов, режимов работы дозирующей системы машины, аэродинамических и физических свойств и массы гранул [8, 9]. Так, высота установки и частота вращения рабочего органа, правильное размещение и наклон лопаток к горизонтальной плоскости оказывают значительное влияние на рабочую ширину распределения и качество внесения удобрений на поверхность поля [10, 11]. В целом следует отметить, что в большинстве своем приемы и дозы внесения, степень неравномерности распределения удобрений могут как повысить, так и снизить объем производимой сельскохозяйственной продукции [12, 13].

В процессе культивации верхнего слоя поля, обеспечивающей рыхление, частичное перемешивание и крошение, возникает потенциальная опасность эрозии почв [14]. При процессах как водной, так и ветровой эрозии происходит потеря части плодородной почвы и урожая, а также ухудшается экологическое состояние окружающей среды за счет дисбаланса питательных веществ, что вызывает в итоге ускоренную деградацию земель [15, 16].

В общем допустимый уровень водной и ветровой эрозии сельскохозяйственных земель рассчитывается путем сравнения фактических показате-

лей интенсивности эрозионных процессов, выраженных в потере почвенной массы (в т/га) за конкретный период, с минимально возможной величиной среднегодового смыва почвы [17, 18]. Одним из ключевых факторов оздоровления почвы может стать биологизация земледелия, приближение к естественно-природным приемам выращивания растений, что подразумевает чередование культур, внесение органики, внедрение сидеральных паров, заделка соломы, использование многолетних трав, зернобобовых культур. В таких системах продуктивно используются микроорганизмы, участвующие в синтезе гумусовых соединений, осуществляется инокуляция пожнивных остатков полезной микрофлорой, что позволяет контролировать патогенные микроорганизмы. Все это создает возможность сохранить плодородие почвы, предотвратить ее деградацию, а также обеспечить экологическую безопасность землепользования [19, 20].

По перечню факторов, характеризующих влияние на окружающую среду, и их численным показателям можно рассчитать безопасность или, наоборот, вредное воздействие машинной технологии. Для дальнейшего решения этой задачи по имеющимся методикам определяются численные значения параметров технологических процессов, разрабатывается многофакторная математическая модель и по ней проводится экологическая оценка негативного влияния производства сельскохозяйственной продукции.

Цель исследования: разработать математическую модель для комплексной оценки степени негативного влияния технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду.

Материалы и методы. При проведении настоящего исследования были использованы аналитические методы. Систематизированы актуальные результаты научных работ, которые отражают решения проблем антропогенного воздействия на окружающую среду, в частности интенсивных агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур. Использовались нормативные документы по оценке негативного воздействия современных технологических процессов.

В ходе исследования, исходя из анализа литературных источников, дано обоснование наиболее существенных показателей экологической оценки технологических процессов; определен ключевой критерий оценки, отражающий степень негативного влияния процесса на окружающую среду; разработана математическая модель комплексной оценки.

Результаты и обсуждение. В общем виде перечень таких факторов, как содержание пестицидов в почве, доза внесения и неравномерность распределения в почве удобрений, а также содержание эрозионно-опасных почвенных частиц, в значитель-

ной степени оказывающих влияние на окружающую среду и являющихся последствием выполнения соответствующего технологического процесса H_{oc}^{TP} , можно представить зависимостью:

$$H_{oc}^{TP} = f(X_p, NPK, K_{NPK}, D_s), \quad (1)$$

где X_p – содержание в почве пестицидов, мг/кг; NPK – доза внесения удобрений (азот-фосфор-калий), кг/га; K_{NPK} – неравномерность распределения в почве удобрений, %; D_s – разрушение почвенного слоя рабочими органами машин (включая изменение содержания эрозионно-опасных частиц), %.

Критерием оценки степени негативного влияния технологического процесса на окружающую среду предлагается принять вероятностный коэффициент $\psi_{тр}$, который должен удовлетворять условию $\psi_{тр} \rightarrow 1$.

На **рисунке** представлена общая схема для определения критерия минимума негативного влияния технологических процессов на окружающую среду, оцениваемого по вероятностному коэффициенту $\psi_{тр}$ с другими зависящими от него показателями.

Главный критерий	Обобщенные показатели	Контролируемые (управляемые) воздействия
• Минимальное негативное воздействие технологического процесса на окружающую среду ($\psi_{тр} \rightarrow 1$)	• Содержание пестицидов в почве (X_p) • Доза внесения удобрений (NPK) • Неравномерность распределения удобрений (K_{NPK}) • Разрушение почвенного слоя рабочими органами машин (D_s)	• Внесение различных удобрений • Обработка растений пестицидами • Предпосевная обработка почвы • Эрозия почвы (водная, ветровая)

Рис. Схема определения критерия минимума негативного влияния технологических процессов на окружающую среду

Fig. Diagram for determining the criterion of minimum negative impact of technological processes on the environment

Вероятностный коэффициент $\psi_{тр}$, учитывающий уровень негативного влияния технологических процессов на окружающую среду, вычисляется по выражению:

$$\psi_{тр} = \frac{1}{4} \cdot (\psi_{X_p} + \psi_{NPK} + \psi_{K_{NPK}} + \psi_{D_s}), \quad (2)$$

где ψ_{X_p} – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень содержания в почве пестицидов (ГОСТ Р 53217–2008); ψ_{NPK} – вероятностный коэффициент, учитывающий уровень обеспечения удобрениями (<https://universityagro.ru>); $\psi_{K_{NPK}}$ – вероятностный коэффициент, учитывающий степень неравномерности распределения в почве (на поверхности) удобрений (ГОСТ 33686–2015; Кулешов М.С. Технология и штанговая машина для вне-

сения твердых минеральных удобрений: автореф. ... канд. техн. наук. 2016); ψ_{D_s} – вероятностный коэффициент, учитывающий степень разрушения почвенного слоя рабочими органами машин (включая изменение содержания эрозионно опасных частиц (<https://universityagro.ru>; ГОСТ 33736–2016).

Вероятностный коэффициент, учитывающий уровень содержания в почве пестицидов:

$$\psi_{X_p} = (X_p)^{cp} / (X_p)^b, \quad (3)$$

где $(X_p)^{cp}$ – среднее значение содержания пестицидов в почве, мг/кг; $(X_p)^b$ – базовое (допустимое) содержание пестицидов в почве, мг/кг.

Вероятностный коэффициент, учитывающий уровень обеспечения удобрениями:

$$\psi_{NPK} = [(NPK)^{cp} / (NPK)^b], \quad (4)$$

где $(NPK)^{cp}$ – среднее значение дозы внесения удобрений, кг/га; $(NPK)^b$ – базовое (нормативное) значение дозы внесения удобрений, кг/га.

Вероятностный коэффициент, учитывающий степень неравномерности распределения в почве (на поверхности) удобрений:

$$\psi_{K_{NPK}} = [(K_{NPK})^{cp} / (K_{NPK})^b], \quad (5)$$

где $(K_{NPK})^{cp}$ – среднее значение неравномерности распределения в почве удобрений, %; $(K_{NPK})^b$ – допустимое значение неравномерности распределения в почве (на поверхности) удобрений, %.

Вероятностный коэффициент, учитывающий степень разрушения почвенного слоя рабочими органами машин – ψ_{D_s} определяем из соотношения:

$$\psi_{D_s} = [(D_s)^{cp} / (D_s)^b], \quad (6)$$

где $(D_s)^{cp}$ – среднее значение содержание эрозионно-опасных частиц (фракции почвы размером менее 1 мм), %; $(D_s)^b$ – базовое (допустимое) содержания эрозионно-опасных частиц, %.

Предложенная математическая модель, по сравнению существующими методиками расчета отдельных показателей, описывает наиболее весомые показатели оценки негативного влияния технологических процессов в растениеводстве в комплексе.

С использованием выражений (1)–(6) были произведены расчеты по определению возможного негативного воздействия технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду.

В **таблице** по результатам расчета приведены допустимые и средние значения показателей и критерия $\psi_{тр}$ оценки степени негативного влияния технологических процессов на окружающую среду.

$$\begin{aligned} \psi_{тр} &= \frac{1}{4} \cdot (\psi_{X_p} + \psi_{NPK} + \psi_{K_{NPK}} + \psi_{D_s}) = \\ &= \frac{1}{4} \cdot (1,4 + 1,04 + 1,5 + 1,3) = 1,31. \end{aligned}$$

Результаты расчетов показывают, что при отсутствии какого-либо значимого негативного влияния

Таблица	Table			
Показатели и вероятностные коэффициенты оценки негативного влияния технологических процессов на окружающую среду				
INDICATORS AND PROBABILISTIC COEFFICIENTS FOR ASSESSING THE NEGATIVE IMPACT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON THE ENVIRONMENT				
Значение показателя	X_p , мг/кг	NPK , кг/га	K_{NPK} , %	D_s , %
Допустимое	0,5	250	10	50
Среднее	0,7	260	15	65
Коэффициент ψ_{xp}	1,40	-	-	-
Коэффициент ψ_{NPK}	-	1,04	-	-
Коэффициент ψ_{KNPK}	-	-	1,50	-
Коэффициент ψ_{Ds}	-	-	-	1,30
Коэффициент ψ_{tp}	1,31			

технологических процессов на окружающую среду значение критерия $\psi_{tr} \leq 1$, при наличии негативного влияния $\psi_{tr} > 1$. Во втором случае требуется разработать мероприятия по снижению антропогенного воздействия технологий на окружающую среду, учитывая уровень рентабельности производства продукции, соответствующий рыночной ситуации. Вместе с тем, перечень показателей оценки должен уточняться для конкретных условий производства сельскохозяйственной продукции.

Одним из вариантов обеспечения экологической безопасности применяемых агротехнологий является почвозащитное земледелие, соответствующее

правилам производства органической продукции с использованием органических удобрений без применения химических средств защиты растений от вредителей и болезней с минимальным негативным воздействием на окружающую среду [21].

Выводы. По результатам аналитического обзора научных публикаций обоснованы наиболее значимые показатели негативного влияния технологических процессов при производстве продукции растениеводства на окружающую среду: содержание пестицидов в почве, доза внесения и неравномерность распределения в почве удобрений, содержание эрозивно-опасных почвенных частиц.

Разработана математическая модель комплексной оценки технологических процессов, расчеты по которой позволяют судить о степени их негативного воздействия на окружающую среду.

Рассмотрен пример расчета на основе фактических и допустимых значений показателей оценки с использованием предложенной математической модели, показывающий, что при значении критерия $\psi_{tr} \leq 1$ не происходит превышения установленных норм безопасности, т.е. отсутствует какое-либо значимое негативное воздействие технологических процессов на окружающую среду. При $\psi_{tr} > 1$ существует риск техногенного характера от воздействия агротехнологий, в этом случае необходимо минимизировать негативные антропогенные последствия на природную среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джаббаров Н.И., Максимов Д.А., Добринов А.В. Научные принципы формирования машинных технологий производства продукции растениеводства // *Агро-ЭкоИнженерия*. 2022. N1(110). С. 102-120. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-102-120.
2. Федоренко В.Ф. О концептуальных принципах развития природоподобных технологий, предотвращения деградации сельскохозяйственных земель и повышения плодородия почв // *АгроЭкоИнженерия*. 2024. N2(119). С. 4-18. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-4-17.
3. Arora S., Arora S., Divya S. et al. Pesticides use and its effect on soil bacterial and fungal populations, microbial biomass carbon and enzymatic activity. *Current Science*. 2019. Vol. 116. Is. 4. 643-649. DOI: 10.18520/cs/v116/i4/643-649.
4. Березняк И.В., Фёдорова Н.Е., Михеева Е.Н. Гигиеническая значимость определения пестицидов в седиментационных пробах // *Здравоохранение Российской Федерации*. 2019. Т. 63. N3. С. 152-158. DOI: 10.18821/0044-197X-2019-63-3-152-158.
5. Гречишкина Ю.И., Есаулко А.Н., Горбатко Л.С. и др. Экологические аспекты применения удобрений в современном земледелии // *Вестник АПК Ставрополя*. 2012. N 3(7). 112-114. EDN: PCQTUR.
6. Лешкенов А.М., Занилов А.Х., Крылова М.Ф. Влияние биологической активности почвы на содержание органического вещества на фоне возрастающих доз минеральных удобрений // *Земледелие*. 2022. N7. С. 11-15. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-7-11-15.
7. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. N3. С. 3-13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
8. Ценч Ю.С., Ахалая Б.Х., Миронова А.В. Почвообрабатывающий посевной агрегат для восстановления эрозивно опасных земельных угодий // *Техника и оборудование для села*. 2022. N12 (306). С. 16-20. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-16-20.
9. Смелик В.А., Давудзай М.А. Исследование рабочего процесса машины для локального внесения ферментированных органических удобрений // *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2023. N1. (42). С. 97-103.6. DOI: 10.35523/2307-5872-2023-42-1-97-103.
10. Овчинников В.А., Жалнин Н.А., Комолов А.Д. и др. Повышение равномерности внесения минеральных и известковых удобрений // *Инженерные технологии и системы*. 2024. Т. 34. N1. С. 115-127. DOI: 10.15507/2658-4123.034.202401.115-127.
11. Панферов Н.С., Тетерин В.С., Митрофанов С.В. и др.

- Тенденции развития машин с центробежными рабочими органами для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений // *Техника и оборудование для села*. 2021. N12. С. 18-24. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.
12. Личман Г.И., Личман А.А. Оценка влияния качества внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N5. С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2017-5-16-21.
 13. Джаббаров Н.И., Добринов А.В. Агроэкологические аспекты моделирования и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // *АгроЭкоИнженерия*. 2024. N3(120). С. 91-109. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-3120-91-109.
 14. Медовик А.Н., Власенко В.П., Твердохлебов С.А., Цымбал А.А. Техногенная деградация почвы и орудие для оптимизации ее агрофизических свойств // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N4. С. 27-29. EDN: OCPSPGJ.
 15. Белюченко И.С. Деградация почв и роль лесополос в мелиорации земель // *Научный журнал КубГАУ*. 2015. N109 (05). С. 814-835. DOI: ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/79.pdf.
 16. Артамонов А.В., Пашкин С.В., Григорьев В.С. и др. Сверхкритические водные технологии для решения экологических и энергетических задач АПК // *Вестник БГАУ*. 2018. N3(47). С. 7-12. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-47-3-7-12.
 17. Кузыченко Ю.А. Обобщенный показатель деградации почвы как фактор формирования системы ее обработки // *Достижения науки и техники АПК*. 2012. N7. С. 12-14. EDN: PBGUOX.
 18. Лобачевский Я.П., Федотов А.В., Григорьев В.С., Ценч Ю.С. Энергетический потенциал продуктов деструкции органосодержащих отходов АПК при их переработке в сверхкритической водной среде // *Вестник аграрной науки Дона*. 2018. N4(44). С. 5-11. EDN: EMKSBO.
 19. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотофиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // *Плодородие*. 2016. N5(92). С. 28-31. EDN: WWRVYN.
 20. Мухамадиев Р.Х., Ибатуллина Р.П. Решение проблемы почвоутomления на примере ООО «Агрокомплекс «АК БАРС» // *Вестник Казанского ГАУ*. 2017. N4(46). С. 26-31. DOI: 10.12737/article_5a5f04cd14919278817.
 21. Джаббаров Н.И., Мишанов А.П., Добринов А.В., Савельев А.П. Моделирование и оценка уровня плодородия почвы // *Инженерные технологии и системы*. 2024. Т. 34. N3. С. 407-423. DOI: 10.15507/2658-4123.034.202403.407-423.

REFERENCES

1. Dzhaborov N.I., Maksimov D.A., Dobrinov A.V. Science concepts for designing machine technologies of crop production. *AgroEcoEngineering*. 2022. N1(110). 102-120 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-102-120.
2. Fedorenko V.F. On conceptual principles of developing nature-like technologies, preventing agricultural land degradation and improving soil fertility. *AgroEcoEngineering*. 2024. N2(119): 4-18 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2024- 2119-4-17.
3. Arora S., Arora S., Divya S. et al. A. Pesticides use and its effect on soil bacterial and fungal populations, microbial biomass carbon and enzymatic activity. *Current Science*. 2019. Vol. 116. Iss. 4. 643-649 (In English). DOI: 10.18520/cs/v116/i4/643-649.
4. Bereznyak I.V., Fedorova N.E., Mikheeva E.N. Hygienic significance of the determination of pesticides in sedimentation tests. *Health Care of the Russian Federation*. 2019. Vol. 63. N3. 152-158. DOI: 10.18821/0044-197X-2019-63-3-152-158.
5. Grechishkina Yu.I., Esaulko A.N., Gorbato L.S. et al. Ecological aspects of fertilizer application in modern farming. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2012. N3(7). 112-114 (In Russian). EDN: PCQTUR.
6. Leshkenov A.M., Zamilov A.H., Krylova M.F. Influence of soil biological activity on the content of organic matter against the background of increasing mineral fertilizers doses. *Zemledelie*. 2022. N7. 11-15 (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2022-7-11-15.
7. Sychev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B. Soil fertility of Russia and ways of its regulation. *Agricultural Chemistry*. 2020. N3. 3-13 (In Russian). DOI: 10.31857/S0002188120060125.
8. Tsench Yu.S., Akhalaya B.Kh., Mironova A.V. Soil-cultivating and sowing unit for the restoration of erosion-hazardous land. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022. N12 (306). 16-20 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-12-16-20.
9. Smelik V.A., Davudzai M.A. Study of the working process of a machine for local application of fermented organic fertilizers. *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2023. N1 (42). 97-103 (In Russian). EDN: ZZLKRC.
10. Ovchinnikov V.A., Zhalnin N.A., Komolov A.D. et al. Increasing the uniformity of application of mineral and lime fertilizers. *Engineering Technologies and Systems*. 2024. N34(1). 115-127 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.034.202401.115-127.
11. Panferov N.S., Teterin V.S., Mitrofanov S.V. et al. Trends in the development of machines fitted with centrifugal working bodies for surface application of solid mineral fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N12. 18-24 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-12-18-24.
12. Lichman G.I., Lichman A.A. Assessment of influence of

- fertilization quality on crop yield. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N5. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2017-5-16-21.
13. Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Agroecological aspects of crop yield modeling and forecasting. *AgroEcoEngineering*. 2024. N3(120). 91-109. (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2024-3120-91-109.
 14. Medovik A.N., Vlasenko V.P., Tverdokhlebov S.A., Tsymbal A.A. Technogenic degradation of soil and a tool for optimizing its agrophysical properties. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2011. N4. 27-29 (In Russian). EDN: OCPSPGJ.
 15. Belyuchenko I.S. Soil degradation and the role of forest belts in land melioration. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015. N109. 814-835 DOI: ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/79.pdf.
 16. Artamonov A., Fedotov A., Pashkin S. et al. Supercritical water technologies for solving environmental and energy problems of agro-industrial complex. *Vestnik BSAU*. 2018. N3. 7-12 (In Russian). DOI: 10.31563/1684-7628-2018-47-3-7-12.
 17. Kuzychenko Yu.A. Composite index of soil degradation as a factor of formation its processing system. *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial complex*. 2012. N7. 12-14 (In Russian). EDN: PBGUOX.
 18. Lobachevsky Ya.P., Fedotov A.V., Grigoriev V.S., Tsench Yu.S. The energy potential of the degradation products of organ-containing agricultural waste during their processing in a supercritical aquatic environment. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2018. N4(44). 5-11 (In Russian). EDN: EMKSBO.
 19. Tikhonovich I.A., Zavalin A.A. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation. *Plodorodie*. 2016. N5 (92). 28-31 (In Russian). EDN: WWRVYN.
 20. Mukhamadiev R.Kh., Ibatullina R.P. Solving the problem of soil fatigue on the example of LLC «Agrocomplex «AK BARS». *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2017. N4(46). 26-31 (In Russian). DOI: 10.12737/article_5a5f04cdba1149.19278817.
 21. Jabborov N.I., Mishanov A.P., Dobrinov A.V., Savelyev A.P. Modeling and assessment of soil fertility level. *Engineering Technologies and Systems*. 2024. N34(3). 407-423 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.034.202403.407-423.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Джабборов Н.И. – концептуализация, научное руководство, разработка обобщенного критерия оценки степени негативного влияния технологического процесса на окружающую среду;
Добринов А.В. – методология, проведение исследований, оценка достоверности полученных результатов, формулирование общих выводов;
Шамонин В.И. – обзор и анализ направлений исследований по оценке негативного влияния технологических процессов на агроэкосистему.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Dzhabborov N.I. – conceptualization, scientific supervision, development of a generalized criterion for assessing the degree of a technological process's negative impact on the environment;
Dobrinov A.V. – methodology, research implementation, validation of the obtained results, formulating general conclusions;
Shamonin V.I. – review and analysis of research directions related to the assessment of the negative impact of technological processes on the agroecosystem.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

30.06.2025
14.08.2025