

Оценка уровня воздействия технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду

© 2026. Н. И. Джаббаров¹, А. В. Добринов², В. А. Эвиев³✉

¹Научный центр инновационных технологий и механизации сельского хозяйства Таджикской академии сельскохозяйственных наук, г. Гиссар, Республика Таджикистан,

²ГАОУ ВО Ленинградской области «Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина», г. Санкт-Петербург – Пушкин, Российская Федерация,

³ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова», г. Элиста, Российская Федерация

Актуальность темы исследования связана с проблемой снижения негативного влияния технологических процессов на окружающую среду при возделывании сельскохозяйственных культур в различных почвенно-рельефных и климатических условиях. Цель исследований – оценка технологических процессов в растениеводстве по степени негативного их воздействия на окружающую среду. Технологические процессы определяют уровень плодородия почвы, выбросы климатически активных веществ и вынос биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий. Для разработки перспективных экологически безопасных технологий важно классифицировать и оценивать процессы с точки зрения их негативного воздействия на окружающую среду. Предложенная градация позволяет структурировать все процессы по уровню влияния на агроэкосистему, а проведенная на ее основе их оценка даст возможность в дальнейшем предложить технико-технологические решения, обеспечивающие экологическую устойчивость проводимых работ в растениеводстве. В результате проведенных исследований обоснован перечень весомых показателей оценки негативного воздействия технологических процессов на окружающую среду (вспашка, внесение минеральных и органических удобрений, защита растений), предложена математическая модель, позволяющая рассчитывать значения интегрального критерия для градации технологических процессов по степени их влияния на агроэкосистему с использованием экспертного и расчетно-эмпирического методов.

Ключевые слова: градация, матричный расчет, балльная оценка, интегральный критерий, расчетно-эмпирический, экспертный метод, классификация, математическая модель, биогенные элементы, степень плодородия почвы, диффузная нагрузка, парниковые газы

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Джаббаров Н. И., Добринов А. В., Эвиев В. А. Оценка уровня воздействия технологических процессов в растениеводстве на окружающую среду. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(3):719–730.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.719-730>

Поступила: 28.07.2025

Поступила после рецензирования: 06.02.2026

Принята к публикации: 21.05.2026

Опубликована онлайн: 30.06.2026

Assessment of the environmental impact of technological processes in crop production

© 2026. Nozim I. Dzhabborov¹, Aleksandr V. Dobrinov², Valery A. Eviev³✉

¹Research Center for Innovative Technologies and Agricultural Mechanization of the Tajik Academy of Agricultural Sciences, Gissar, Republic of Tajikistan,

²Pushkin Leningrad State University, Saint-Petersburg – Pushkin, Russian Federation,

³Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov, Elista, Russian Federation

The relevance of this research topic is related to the problem of reducing the negative impact of technological processes on the environment during crop cultivation in various soil, topography, and climatic conditions. The objective of the research is to evaluate technological processes in crop production based on their negative environmental impact. Technological processes determine soil fertility, emissions of climate-active substances, and the removal of nutrients from agricultural lands. To develop promising environmentally friendly technologies, it is important to classify and evaluate processes according to their negative environmental impact. The proposed gradation allows for the structuring of all processes based on their impact on the agroecosystem, and the resulting assessment will enable the future development of technical and technological solutions that ensure the environmental sustainability of crop production operations. As a result of the conducted research, a list of significant indicators for assessing the negative impact of technological processes on the environment (plowing, application of mineral and

organic fertilizers, plant protection) was substantiated, and there was proposed a mathematical model that allowed calculating the values of the integral criterion for grading technological processes according to the degree of their impact on the agroeco-system using expert and calculation-empirical methods.

Keywords: gradation, matrix calculation, point assessment, integral criterion, calculation-empirical, expert method, classification, mathematical model, biogenic elements, degree of soil fertility, diffuse load, greenhouse gases

Acknowledgments: the research was carried out without financial support within the initiative topic.

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Assessment of the environmental impact of technological processes in crop production. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(3):719–730. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.3.719-730>

Received: 28.07.2025

Received after review: 06.02.2026

Accepted for publication: 21.05.2026

Published online: 30.06.2026

Для обеспечения единообразия при разработке нормативно-технической документации в сфере охраны окружающей среды от негативных воздействий объектов сельскохозяйственной деятельности на всех стадиях жизненного цикла производимых ими товаров и оказываемых услуг необходимо использовать единую классификационную структуру показателей экологической безопасности.

В Федеральном регистре технологий производства продукции растениеводства¹, исходных требованиях на базовые машинные технологические операции в растениеводстве², типовых требованиях к базовым машинным операциям при использовании их в технологических процессах производства продукции растениеводства³, технологиях внесения удобрений и применения средств защиты⁴ подробно изложен перечень технологических процессов и соответствующих технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур.

Анализ перечисленных материалов показывает, что до сих пор отсутствует четкая классификация технологических процессов по признакам трудоемкости, энергоемкости, производительности, экологической безопасности и т. д. При этом методы оценки процессов по каждому из трех первых признаков в отдельности достаточно хорошо известны и подробно

описаны методики их расчета в отличие от последнего, что затрудняет отнесение объектов к разряду «более» или «менее» экологически безопасных. В этой связи возникает задача классификации технологических процессов по определенным наиболее значимым признакам в области экологической безопасности.

Отсутствие правил оценивания процессов по уровню их негативного влияния на окружающую среду заставляет задуматься о поиске способов их создания.

Обоснованный выбор тех или иных технологических процессов и технических средств, обеспечивающих снижение негативного воздействия на окружающую среду, на основе технологических карт возделывания сельскохозяйственных культур, представляется сложной, но актуальной задачей.

В качестве одного из наиболее доступных способов решения такой сложной задачи является разработка матрицы процессов, которая позволяет дать логическую классификацию на основе степени их воздействия на окружающую среду по определенным выбранным критериям и показателям. Матричный расчет, в основе которого заложена система баллов оценки весомости показателей, достаточно широко применяется для ранжирования и различных производственных процессов [1, 2, 3].

¹Федеральный регистр технологий производства продукции растениеводства. Система технологий. М.: Информ-агротех, 1999. 522 с. URL: <https://ru.z-lib.bz/book/VgOd0AY2O5/Федеральный-регистр-технологий-производства-продукции-растениеводства.html>

²Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. Разраб.: д.т.н. В. П. Елизаров и др. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 270 с.

³Морозов Ю. Л., Андрианов В. М. Типовые требования к базовым машинным операциям при использовании их в технологических процессах производства продукции растениеводства. СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ, 2004. 172 с.

⁴Старовойтова О. А., Старовойтов В. И., Мишуров Н. П., Щеголихина Т. А., Манохина А. А., Воронов Н. В. Технологии внесения удобрений и применения средств защиты при возделывании картофеля: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 84 с.

Матричный анализ позволяет оценить значимость каждого отдельно взятого технологического процесса и соответствующего технического средства по выбранным критериям.

На практике для определения качества выполнения производственных процессов и получения ожидаемой продукции распространен метод рейтинговой (балльной) оценки [4, 5, 6].

Для выявления технологического уровня развития производства продукции растениеводства используют рейтинговую оценку на основе расчета индекса эффективности технологии. Такой способ расчета может использоваться для большинства сельскохозяйственных организаций с привязкой к технологическим особенностям территории [7].

Технологические процессы в растениеводстве в зависимости от природно-климатических условий производства, средств производства, состава технических средств и т. д. оказывают значительное воздействие на плодородие почвы, выбросы парниковых газов и вынос биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий.

К наиболее значимым показателям оценки, влияющим на плодородие почвы, относят содержание гумуса, кислотность, влажность, пористость почвы, содержание подвижных форм азота, фосфора, обменного калия, а также ее биологическую активность [8].

На величину выделения парниковых газов в атмосферу влияют приемы обработки почвы, ее гранулометрический состав, дозы внесения удобрений, количество растительных остатков, выбросы вредных веществ от сгорания топлива в МТА [9].

Загрязнение окружающей среды, в частности водных объектов, биогенными элементами (азотом и фосфором) происходит при их выносе с сельскохозяйственных угодий с атмосферными осадками и зависит от площади водосбора [10].

Классифицируя технологии уборки сельскохозяйственных культур, например бахчевых, с целью последующей их оценки в зависимости от требований производства применяются такие признаки, как полнота сбора плодов, степень механизации процесса, способ уборки урожая и способ контроля качества урожая [11].

Для классификации лесных почвогрунтов Европейско-Уральского региона с учетом экологических требований используют признаки –

деформируемость, уплотняемость, плодородие и восстановительная способность почв [12].

Ранжирование производственных объектов рекомендуется проводить через оценку технологий и их соответствию современному научно-техническому уровню по признаку экологического риска: 1 – умеренный; 2 – допустимый; 3 – неблагоприятный; 4 – критический и 5 – экстремальный (запрет производства) [2].

Измерительные технологии классифицируют по признаку их использования в различных отраслях технических наук [13], а при ранжировании устройств или оборудования, например, для производства смесей сыпучих материалов, учитывают особенности их конструкции, принципы функционирования, способы смесеобразования, а также технико-экономические показатели работы [14].

В целом одной из назревающих проблем аграрной науки является разработка высокоэффективных и энергоресурсосберегающих технологий для экологически безопасного производства сельскохозяйственной продукции. Разработка таких технологий требует проведения объективной оценки на основе предварительной классификации технологических процессов по степени негативного их воздействия на окружающую среду. Градация технологических процессов даёт возможности:

- выявить недостатки и разработать пути совершенствования технологий;
- определить наиболее энергоемкие процессы;
- сосредоточить однотипные операции на определенных технических средствах, что позволит снизить количество технологических настроек;
- использовать типовые процессы для сокращения общего количества технологических операций в технологиях для уменьшения негативного их влияния на окружающую среду.

Цель исследований – провести оценку технологических процессов в растениеводстве по степени негативного их воздействия на окружающую среду.

Научная новизна:

- обоснование перечня весомых показателей оценки негативного воздействия технологических процессов на окружающую среду;
- разработка математической модели для определения значений интегрального критерия для градации технологических процессов по уровню их воздействия на окружающую среду;

- разработка градации технологических процессов по степени негативного их влияния на окружающую среду расчетно-эмпирическим и экспертными методами.

Материал и методы. Материалами исследования послужили научные источники информации [2, 4, 7, 9, 10], технологические операции в технологиях возделывания зерновых культур, результаты измерения показателей оценки их воздействия на окружающую среду. Объектами исследования являлись технологические процессы и технологии возделывания зерновых культур.

Предмет исследования – оценка степени негативного влияния технологических процессов в технологиях возделывания зерновых культур на окружающую среду на основе их классификации.

При проведении исследования применяли следующие методы: математического моделирования; матричного расчета; экспертный (балльная оценка); экспериментальный (определение показателей оценки технологических процессов); статистической обработки опытных данных.

Исследования состояли из семи этапов:

- анализ литературных источников по теме исследований;
- выбор наиболее значимых показателей оценки степени негативного влияния технологических процессов на окружающую среду;
- разработка матрицы для анализа и определения технологических процессов, обеспечивающих снижение негативного воздействия на окружающую среду;
- классификация технологических процессов по уровню их воздействия на окружающую среду по результатам матричного расчета;
- обоснование интегрального критерия для определения степени воздействия технологических процессов на окружающую среду на основе экспериментального определения оценочных показателей;
- градация технологических процессов по уровню их воздействия на окружающую среду по результатам экспериментальных исследований;
- сравнительная оценка результатов исследований по градации технологических процессов, полученных экспертной оценкой и расчетно-эмпирическим методом.

Результаты и их обсуждение. Градация технологических процессов экспертным методом (балльная оценка). Для оценки весомости показателей и ранжирования процессов чаще всего используют балльную систему [5]. Такое ранжирование требует привлечения высококвалифицированных специалистов в соответствующей отрасли знаний. Балльная оценка может быть определена по шкале интервалов. Обычно в практике применяют 10-балльную, 5-балльную, 3-балльную шкалу или другие шкалы оценки. Количество устанавливаемых баллов зависит от числа оценочных показателей.

Для анализа и обоснования технологических процессов и технических средств, обеспечивающих снижение негативного влияния на окружающую среду, нами была разработана матрица базовых технологических процессов на примере возделывания зерновых культур (табл. 1).

В качестве признаков градации изучаемых технологических процессов выбраны три критерия: степень плодородия почвы, диффузная нагрузка на водные объекты (или вынос биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий) и выбросы парниковых газов [8, 9, 10].

Для оценки весомости исследуемых процессов нами была применена 3-балльная шкала оценки.

Балльная шкала показывает степень негативного влияния конкретного технологического процесса на определенный показатель оценки, входящий в структуру выбранных критериев: «2» – сильное влияние; «1» – слабое влияние; «0» – незначительное влияние (или его отсутствие).

Всего выбраны 7 наиболее весомых показателей, входящих в структуру трех критериев, на которые воздействуют технологические процессы и соответствующие им технические средства. В ряде случаев для оценки процессов по выбранным критериям используются одинаковые показатели. В таком случае диапазон распределения баллов составляет от 0 до 14.

На основании принятой трехбалльной шкалы, нами установлено три диапазона изменения оценочных баллов, по которым производился выбор технологических процессов, обеспечивающих снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Таблица 1 – Матрица для анализа и градации технологических процессов по степени их негативного воздействия на окружающую среду /
Table 1 – Matrix for the analysis and gradation of technological processes according to the degree of their negative impact on the environment

Технологический процесс / Technological process	Критерий экологической оценки при воздействии технологических процессов технологий возделывания с.-х. культур на окружающую среду / Criteria for environmental assessment of the impact of agricultural technologies on the environment																Сумма баллов по трем критериям / The sum of the points according to three criteria				
	степень плодородия почвы / the degree of soil fertility				сумма баллов / the amount of points			диффузная нагрузка / diffuse load			сумма баллов / the amount of points			парниковые газы / greenhouse gases						сумма баллов / the amount of points	
														показатели оценки (в баллах) / evaluation indicators (in points)							
	D_o	B_o	Δ_u	C_o	C_y	C_n	C_o	C_y	C_n	B_o	C_y	C_n	Δ_u	C_o							
Вспашка / Plowing	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	5	11					
Культивация (предпосевная) / Cultivation (pre-sowing)	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	8					
Внесение удобрений:/ Application of fertilizers: - минеральные / mineral - органические / organic	2	1	0	2	2	0	1	3	1	2	0	1	2	6	14						
	2	1	0	0	2	0	2	4	1	2	0	0	2	5	12						
Посев / Sowing	2	1	2	0	2	0	0	2	1	0	0	0	0	1	8						
Междурядная обработка почвы / Row-by-row tillage	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	3	7						
Обработка средствами защиты растений / Treatment with plant protection products: - химические / chemical - биологические / biological	1	0	0	1	2	2	0	4	1	0	2	0	1	4	10						
	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	3						
Десикация / Desiccation	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	2	0	0	3	5						
Уборка (зерновые) / Harvesting (grain)	2	2	1	1	6	2	0	2	1	0	0	0	0	1	9						
Транспортировка / Transportation	2	2	1	1	6	0	0	0	1	0	0	0	0	1	7						

Примечания / Notes: D_o – давление двигателей на почву, МПа; B_o – буксование двигателей энергетического средства, % / slipping of the vehicle's propellers, %; Δ_u – содержание эрозивно-опасных частиц, % / content of erosive-dangerous particles, %; C_o – содержание органического вещества (гумуса) в почве, % / content of organic matter (humus) in the soil, %; C_y – содержание питательных веществ (удобрений) в почве, кг/га / nutrient (fertilizer) content in the soil, kg/ha; C_n – содержание в почве пестицидов, мг/кг / pesticide content in the soil, mg/kg; B_o – выбросы вредных веществ двигателями МТА, г/га / emissions of harmful substances by MTA engines, g/ha

Так как, с учетом всех 3 критериев, по представленной матрице для конкретной технологии возделывания диапазон оценочных баллов колеблется от 0 до 14, при 14/3 получаем 4,67, что соответствует среднему значению. Таким образом, первый диапазон изменения баллов составляет «0–4,67», второй – «4,68–9,34» и третий – «9,35–14,0».

Первому диапазону «0–4,67» баллов соответствуют технологические процессы, которые оказывают незначительное негативное влияние (или его отсутствие) на окружающую среду, второму диапазону «4,68–9,34» баллов – технологические процессы, оказывающие слабое негативное влияние, третьему диапазону «9,35–14,0» баллов – сильное негативное влияние на окружающую среду

В результате проведения экспертной оценки определены следующие технологические процессы, оказывающие на окружающую среду:

- *незначительное негативное влияние* – защита растений от вредителей и болезней биологическими средствами (3 балла);

- *слабое негативное влияние:*

- культивация (предпосевная) (8 баллов);
- посев (8 баллов);
- междурядная обработка почвы (7 баллов);
- десикация (5 баллов);
- уборка урожая (9 баллов);
- транспортировка урожая (7 баллов);

- *сильное негативное влияние:*

- вспашка (11 баллов);
- внесение органических удобрений (12 баллов);
- внесение минеральных удобрений (14 баллов);
- защита растений от вредителей и болезней химическими средствами (10 баллов).

$$\bar{D}_{mn}^{OC} = \frac{100}{n_n} \cdot \left(\left| \frac{D_{\partial}^* - D_{\partial}^{\Phi}}{D_{\partial}^*} \right| + \left| \frac{B_{\partial}^* - B_{\partial}^{\Phi}}{B_{\partial}^*} \right| + \left| \frac{\mathcal{E}_q^* - \mathcal{E}_q^{\Phi}}{\mathcal{E}_q^*} \right| + \left| \frac{C_o^{\Phi} - C_o^*}{C_o^*} \right| + \left| \frac{C_y^{\Phi} - C_y^*}{C_y^*} \right| + \left| \frac{C_n^* - C_n^{\Phi}}{C_n^*} \right| + \left| \frac{B_{\partial}^* - B_{\partial}^{\Phi}}{B_{\partial}^*} \right| \right), \quad (2)$$

где n_n – общее количество весовых показателей оценки технологических процессов и технических средств; D_{∂}^* , B_{∂}^* , $\mathcal{E}_q^*$, C_o^* , C_y^* , C_n^* , B_{∂}^* – допустимые агротехникой значения показателей оценки технологических процессов и технических средств; D_{∂}^{Φ} , B_{∂}^{Φ} , $\mathcal{E}_q^{\Phi}$, C_o^{Φ} , C_y^{Φ} , C_n^{Φ} , B_{∂}^{Φ} – фактические значения показателей оценки технологических процессов и технических средств, установленных по результатам измерений.

На основе анализа литературных источников установлены допустимые значения

Градации технологических процессов расчетно-эмпирическим методом является более трудоемким по сравнению с экспертной оценкой, но при этом позволяет получать репрезентативные данные по оценочным показателям.

Как видно из данных таблицы 1, на плодородие почвы, диффузную нагрузку и выбросы парниковых газов в основном влияют семь показателей оценки технологических процессов и технических средств: давление D_{∂} на почву и буксование B_{∂} движителей, содержание в почве эрозийно опасных частиц $\mathcal{E}_q$, органического вещества (гумуса) C_o , питательных веществ (удобрений) C_y , пестицидов C_n , а также выбросы вредных веществ B_{∂} двигателями при сгорании топлива. В общем случае, с учетом вышеперечисленных показателей, степень воздействия технологических процессов и соответствующих технических средств на окружающую среду может быть выражена формулой:

$$D_{mn}^{OC} = f(D_{\partial}, B_{\partial}, \mathcal{E}_q, C_o, C_y, C_n, B_{\partial}). \quad (1)$$

Перечисленные показатели оценки можно определить экспериментально и пределы их изменения приводятся во многих нормативных документах. Формула (1) представляет преобразование интегрального критерия в показатели, которые имеют интервалы своих возможных значений. В этом случае представляется возможным сравнение каждого отдельно взятого показателя с его предельно допустимым значением.

С учетом выражения (1), обобщение трех критериев, включающих в себя семь показателей экологической оценки воздействия технологических процессов на окружающую среду, позволяет сформулировать интегральный критерий, который определяется из выражения:

показателей оценки негативного влияния технологических процессов на окружающую среду (табл. 2).

С использованием допустимых значений показателей оценки с помощью выражения (2) определяем значения интегрального критерия D_{mn}^{OC} , по которым можно производить градацию технологических процессов. В таблице 3 приведены значения критерия D_{mn}^{OC} технологических процессов по уровню их воздействия на окружающую среду.

Таблица 2 – Допустимые значения показателей оценки негативного влияния технологических процессов на окружающую среду /

Table 2 – Acceptable values of indicators for assessing the negative impact of technological processes on the environment

Показатель / Indicator	Допустимые значения / Acceptable values	Источник / Source
1	2	3
Давление движителей на почву, МПа / Pressure of the propellers on the soil, MPa	Влажность почвы в слое 0-30 см (весенний период) / Soil moisture in the 0-30 cm layer (spring): - свыше 0,9 НВ – 0,08 / over 0.9 HB – 0.08; - свыше 0,7 НВ до 0,9 НВ включ. – 0,1 / over 0.7 HB to 0.9 HB inclusive – 0.1; - свыше 0,6 НВ до 0,7 НВ включ. – 0,12 / over 0.6 HB to 0.7 HB inclusive – 0.12; - свыше 0,5 НВ до 0,6 НВ включ. – 0,15 / over 0.5 HB to 0.6 HB inclusive – 0.15; - 0,5 НВ и менее – 0,18. / 0.5 HB and less – 0.18.	ГОСТ Р 58655-2019 ⁵
Буксование движителей энергетического средства, % / Slippage of the vehicle's propellers, %	15–20 % – для колесных пропашных / for wheeled row tractors 3–5 % – для гусеничных тракторов / for tracked tractors.	[15]
Содержание эрозионно опасных частиц, % / Content of erosive-dangerous particles, %	< 50	ГОСТ Р 53054 – 2008 ⁶
Содержание органического вещества (гумуса) в почве, % / Content of organic matter (humus) in the soil, %	Минерально-луговые – 3,5-4,0 / Mineral meadow soils – 3.5-4.0: - слабогумусированные (< 4 на целине, < 2,5 на пашне) / low-humus (< 4 on virgin soil, < 2.5 on arable land); - малогумусные (соответственно 4–6 и 2,5–4,0) / low-humus (4–6 and 2.5–4.0, respectively); - среднегумусные (> 6 на целине, > 4 на пашне) / medium-humus (> 6 on virgin soil, > 4 on arable land).	Справочное издание / Reference edition ⁷
	Суглинистые – 2,5-3,0 / Loamy soils – 2.5-3.0; Супесчаные – 2,0-2,5 / Sandy loam – 2.0-2.5; Песчаные – 1,8–2,2; / Sandy – 1.8–2.2;	Справочное издание / Reference edition ⁸
Оптимальное содержание питательных веществ (удобрений) в почве- / Nutrient content (fertilizers) in the soil	Азот, % / Nitrogen, % Суглинистые – 0,15–0,50 / Loamy soils – 0.15–0.50 Супесчаные – 0,08–0,15 / Sandy loam soils – 0.08–0.15 Песчаные – 0,02 / Sandy soils – 0.02.	[16], учебное пособие / training manual ⁹ ; справочное издание / reference edition ¹⁰
	Фосфор, мг/кг почвы / Phosphorus, mg/kg soil Суглинистые – 250–300 / Loamy soils – 250–300; Супесчаные – 200–250 / Sandy loam soils – 200–250; Песчаные – 150–200 / Sandy soils – 150–200; Минерально-луговые – 120–200 / Mineral meadow soils – 120–200. Калий, мг/кг почвы / Potassium, mg/kg soil Суглинистые – 200–300 / Loamy soils – 200–300; Супесчаные – 170–250 / Sandy loam soils – 170–250; Песчаные – 100–150 / Sandy soils – 100–150; Минерально-луговые – 150–200 / Mineral meadow soils – 150–200.	
Содержание в почве пестицидов, мг/кг / Pesticide content in soil, mg/kg	< 0,5	СанПиН 1.2.3685-21 ¹¹ ; ГОСТ 17.4.1.02-83 ¹²

⁵ГОСТ Р 58655- 2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву.

М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725777.pdf>

⁶ГОСТ Р 53054 – 2008. Машинные технологии производства продукции растениеводства. Методы экологической оценки. М.: Стандартинформ, 2009. 23 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/4bc/4293831099.pdf>

⁷Богатырев Л. Г., Васильевская В. Д., Владыченский А. С., Гришина Л. А., Евдокимова Т. И., Зборищук Ю. Н. и др. Типы почв, их география и использование. М.: Высшая школа, 1988. Ч. 2. 368 с.

⁸Справочник агрохимика. Под. ред. В. В. Лапа. Минск: Белорусская наука, 2007. 390 с.

⁹Шеуджен А. Х., Кизинёк С. В., Слюсарев В. Н. Агрохимия. Ч. 7. Региональная агрохимия: учебное пособие.

Краснодар: КубГАУ, 2018. 460 с.

¹⁰Справочник агрохимика. 2007.

¹¹Постановление от 28 января 2021 года № 2 СанПиН 1.2.3685-21. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». [Электронный ресурс].

URL: https://nagut6.gosuslugi.ru/netcat_files/174/2801/SP123685_21.pdf (дата обращения: 02.04.2025).

¹²ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

М.: Стандартинформ, 2009. 4 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/22f/4294851976.pdf>

Продолжение табл. 2

1	2	3
Выбросы вредных веществ двигателями МТА, г/(кВт·ч.) / Emissions of harmful substances by MTA engines, g/(kW·h)	Для двигателей внутреннего сгорания / For internal combustion engines: - оксиды азота – не более 18 г/(кВт·ч.) / nitrogen oxides – no more than 18 g/(kW h); - оксид углерода – не более 10 г/(кВт·ч.) / carbon monoxide – no more than 10 g/(kW h); - углеводороды – не более 4,5 г/(кВт·ч.) / hydrocarbons – no more than 4.5 g/(kW h).	ГОСТ 17.2.2.05-97 ¹³
	Для процесса / For the process: $Q_{\text{ТВ}} \leq Q_{\text{га}}^{\text{опт}} \cdot q_{\text{ТВ}},$ где $Q_{\text{га}}^{\text{опт}}$ – расход топлива в оптимальных режимах работы МТА, кг/га / $Q_{\text{га}}^{\text{опт}}$ is the fuel consumption in optimal MTA operating modes, kg/ha; $q_{\text{ТВ}}$ – количество выбросов токсичных компонентов при сгорании 1 кг топлива / is the amount of toxic component emissions from the combustion of 1 kg of fuel	[17, 18]

Как видно из данных таблицы 3, расчетные значения интегрального критерия D_{mn}^{OC} колеблются в пределах от -0,0378 до -0,3883. С учетом установленного интервала изменения критерия

D_{mn}^{OC} можно выделить три диапазона его изменения (табл. 4), по которым производится градация технологических процессов.

Таблица 3 – Расчетные значения интегрального критерия D_{mn}^{OC} для градации технологических процессов /
Table 3 – Calculated values of the integral criterion D_{mn}^{OC} for the gradation of technological processes

Технологический процесс / Technological process	Значения / Values
Внесение органических удобрений / Application of organic fertilizers	-0,0378
Обработка биологическими средствами защиты растений / Treatment with biological plant protection products	-0,058
Междурядная обработка почвы / Row-by-row tillage	-0,1079
Посев / Sowing	-0,110
Внесение минеральных удобрений / Application of mineral fertilizers	-0,135
Культивация предпосевная / Pre-sowing cultivation	-0,1686
Уборка урожая / Harvesting	-0,2465
Вспашка / Plowing	-0,2491
Транспортировка урожая / Transportation of crops	-0,256
Обработка химическими средствами защиты растений / Treatment with chemical plant protection products	-0,3723
Десикация / Desiccation	-0,3883

Завершающим этапом настоящих исследований является сравнение результатов, полученных при экспертной оценке и расчетно-эмпирическим методом.

Сравнительная оценка результатов градации технологических процессов методом экспертной оценки (по балльной шкале весомости) и расчетно-эмпирическим методом (по результатам экспериментальных исследова-

ний) показывает их неидентичность. При этом предпочтение все же необходимо отдавать второй оценке в ущерб первой. Это связано с тем, что расчетно-эмпирический метод, хотя трудоемкий, опирается на наблюдения и репрезентативные экспериментальные данные, что делает его более объективным и надежным по сравнению с экспертным методом. Так как экспертный метод из-за недостатка количественных данных

¹³ГОСТ 17.2.2.05-97. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. 9 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847481.pdf>

и неучтенных факторов, зависимости от компетенции экспертов позволяет дать только субъективную оценку, что в итоге снижается ее точность

и надежность. В этой связи экспертный метод целесообразно использовать при невозможности проведения экспериментальных исследований.

Таблица 4 – Диапазоны изменения интегрального критерия и градация технологических процессов от уровня их воздействия на окружающую среду /

Table 4 – Ranges of change in the integral criterion and gradation of technological processes based on their environmental impact

≥ 0	Технологические процессы, не оказывающие негативное влияние на окружающую среду / Technological processes that do not have a negative impact on the environment
$0 \dots -0,13$	Технологические процессы, оказывающие незначительное негативное влияние на окружающую среду / Technological processes that have a minor negative impact on the environment
$-0,13 \dots -0,26$	Технологические процессы, оказывающие слабое негативное влияние на окружающую среду / Technological processes that have a low negative impact on the environment
$-0,26 \dots -0,39$	Технологические процессы, оказывающие сильное негативное влияние на окружающую среду / Technological processes that have a strong negative impact on the environment

Основываясь на результаты, полученные расчетно-эмпирическим методом, можно сделать вывод, что такие технологические процессы, как вспашка, внесение минеральных удобрений, культивация предпосевная, уборка и транспортировка урожая, обработка химическими средствами защиты растений, десикация подлежат технико-технологическому совершенствованию.

Технико-технологическое совершенствование представляет собой разработку технико-технологических решений, реализация которых обеспечит энерго-экономическую эффективность и экологическую безопасность технологических процессов и технических средств в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Технико-технологические решения должны включать:

- усовершенствованные технологические процессы, технические средства и их рабочие органы;
- оптимальные (или рациональные) режимы функционирования технических средств;
- оптимальные нормы удобрений и усовершенствованные способы их внесения;
- рационально скомплектованные МТА с учетом зонального характера энергетических средств и технологических модулей (машин);
- энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологические процессы и технические средства.

Закключение. В результате исследований обоснован перечень весомых показателей оценки негативного воздействия технологических процессов на окружающую среду. Разработана матрица для анализа и определения технологических процессов, обеспечивающих снижение негативного воздействия на окружающую среду методом экспертной оценки.

Разработана математическая модель для определения значений интегрального критерия, по которым производится градация технологических процессов расчетно-эмпирическим методом.

Представлена градация технологических процессов по степени негативного их влияния на окружающую среду расчетно-эмпирическим и экспертными методами. Градация технологических процессов расчетно-эмпирическим методом является более объективной и надежной по сравнению с экспертным методом, так как опирается на наблюдения и репрезентативные экспериментальные данные. В связи с этим экспертный метод целесообразно использовать при невозможности проведения экспериментальных исследований.

Результаты исследований в дальнейшем можно использовать при разработке энергоресурсосберегающих и экологически безопасных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, а также для оценки влияния технологических процессов на устойчивость и стабильность агроэкосистем при производстве продукции растениеводства.

Список литературы

1. Черова М. В. Экологическая оценка состояния территории Республики Саха (Якутия). Международный технико-экономический журнал. 2017;(3):94–97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29661200> EDN: YZBZDV
2. Алборов И. Д., Бурдзиева О. Г., Тедеева Ф. Г., Глазов А. П. Экологический риск в природно-технической системе. Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2017;(71):100–103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32294095> EDN: YMAOZE
3. Симакова М. С. О принципах классификации пахотных почв России. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018;(92):95–121. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-95-121> EDN: UQICTB
4. Мелешкина Е. П., Приезжева Л. Г., Леонова Т. А., Панкратьева И. А., Очеретенко Т. И. Комплексная балльная органолептическая оценка зернопродуктов. Контроль качества продукции. 2017;(5):40–43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ymsfkz> EDN: YMSFKZ
5. Приезжева Л. Г., Леонова Т. А., Мелешкина Е. П., Панкратьева И. А., Очеретенко Т. И. Совершенствование методики балльной оценки зернопродуктов. Хлебопродукты. 2012;(1):61–63. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17257600> EDN: ONQVYL
6. Орманджи К. С. Контроль качества полевых работ. М.: Россельхозиздат, 2001. 189 с. Режим доступа: <http://opac.skunb.ru/index.php?url=/notices/index/IdNotice:646106/Source:default>
7. Волкова Е. А. Рейтинговая оценка технологической эффективности производства продукции растениеводства. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;(4):4–7. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/4-7> EDN: DZCJOX
8. Джаббаров Н. И., Мишанов А. П., Добринов А. В., Савельев А. П. Моделирование и оценка уровня плодородия почвы. Инженерные технологии и системы. 2024;34(3):407–423. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202403.407-423> EDN: ABOJCL
9. Джаббаров Н. И., Мишанов А. П., Захаров А. М., Добринов А. В. Методика оценки уровня выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024;18(3):75–81. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81> EDN: CEXDWM
10. Джаббаров Н. И., Савельев А. П., Добринов А. В., Захаров А. М., Жуйков И. И. Моделирование и прогнозирование выноса биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий в зависимости от агрофизических свойств почвы. Инженерные технологии и системы. 2024;34(1):101–114. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.101-114> EDN: EOEFRТ
11. Шапров М. Н., Седов А. В., Гурба А. В. Анализ технологий и способов уборки бахчевых культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020;(2(58)):363–374. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-02-36> EDN: ECSPVX
12. Шаров А. Ю. Классификация лесных почвогрунтов Европейско-Уральского региона с учетом экологических требований при проектировании транспортных и технологических процессов заготовки древесины. Леса России и хозяйство в них. 2008;(2(30)):54–57. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21127608> EDN: QACQST
13. Роцин Д. А. К вопросу о классификации измерительных технологий. Universum: технические науки. 2023;(8-1(113)):49–52. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2023.113.8.15838> EDN: XQOORS
14. Лапина В. А. Возможная классификация устройств для производства смесей сыпучих материалов. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020;(10):473–475. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44298694> EDN: BGQOLD
15. Косенко В. В. Гусеничные тракторы в сельском хозяйстве России. Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2018;(1(17)):237–247. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35425344> EDN: XWEKVВ
16. Аббасова А. А., Слюсарев В. Н. Азот и формы его содержания в почве. Тенденции развития науки и образования. 2023;(95-4):169–171. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-03-2023-210> EDN: QXVNJZ
17. Джаббаров Н. И., Косильников Р. А., Добринов А. В., Комоедов А. В. Сравнительная энерго-экологическая оценка почвообрабатывающих агрегатов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024;(1(73)):251–263. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-01-29> EDN: ZUGUUZ
18. Суркин В. И., Петелин А. А., Федосеев С. Ю. Снижение дымности отработавших газов дизеля отключением части цилиндров. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2012;(33(292)):69–74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18043723> EDN: PEWCZL

References

1. Cherova M. V. Ecological assessment of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). *Mezhdunarodny tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal*. 2017;(3):94–97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29661200>
2. Alborov I. D., Burdzyeva O. G., Tedeyeva F. G., Glazov A. P. Environmental risk in the natural-technical system. *Trudi Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017;(71):100–103. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32294095>
3. Simakova M. S. On the principles of classification of arable soils in Russia. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchayeva = Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018;(92):95–121. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-95-121>
4. Meleshkina E. P., Priyetzheva L. G., Leonova T. A., Pankratyeva I. A., Ocheretenko T. I. Comprehensive organoleptic scoring of grain products. *Kontrol kachestva produktsii = Production Quality Control*. 2017;(5):40–43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ymsfkz>
5. Priyetzheva L. G., Leonova T. A., Meleshkina E. P., Pankratyeva I. A., Ocheretenko T. I. Improving the methodology of scoring grain products. *Khleboprodukti*. 2012;(1):61–63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17257600>
6. Ormandzhi K. S. Field work quality control. Moscow: *Rosselkhozizdat*, 2001. 189 p. URL: <http://opac.skunb.ru/index.php?url=/notices/index/IdNotice:646106/Source:default>
7. Volkova E. A. Rating score of technological efficiency of crop production. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2021;(4):4–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/4-7>
8. Dzhabborov N. I., Mishanov A. P., Dobrinov A. V., Savelev A. P. Modeling and assessment of soil fertility level. *Inzhenerniye tekhnologii i sistemi = Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(3):407–423. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202403.407-423>
9. Dzhabborov N. I., Mishanov A. P., Zakharov A. M., Dobrinov A. M. Methodology for Assessing the Level of Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Crops Production. *Selskokhozyaystvenniye mashini i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2024;18(3):75–81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-3-75-81>
10. Dzhabborov N. I., Savelyev A. P., Dobrinov A. V., Zakharov A. M., Zhuykov I. I. Modeling and forecasting the removal of biogenic elements from agricultural lands depending on the soil agrophysical properties. *Inzhenerniye tekhnologii i sistemi = Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(1):101–114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.101-114>
11. Shaprov M. N., Sedov A. V., Gurba A. V. Analysis of technologies and methods of harvesting melons. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vissheye professionalnoye obrazovaniye = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2020;(2(58)):363–374. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-02-36>
12. Sharov A. Yu. Classification of wood soils of the EvropejskoUral region taking into account ecological requirements at designing of transport and technological processes of preparation of wood. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh = Forests of Russia and economy in them*. 2008;(2(30)):54–57. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21127608>
13. Roshchin D. A. On the issue of classification of measuring technologies. *Universum: tekhnicheskiye nauki*. 2023;(8-1(113)):49–52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2023.113.8.15838>
14. Lapina V. A. Possible classification of devices for the production of mixtures of bulk materials. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2020;(10):473–475. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44298694>
15. Kosenko V. V. Crawler tractors in Russian agriculture. *Konstruirovaniye, ispolzovaniye i nadezhnost mashin selskokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2018;(1(17)):237–247. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35425344>
16. Abbasova A. A., Slyusarev V. N. Nitrogen and forms of its content in the soil. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2023;(95-4):169–171. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-03-2023-210>
17. Dzhabborov N. I., Kosulnikov R. A., Dobrinov A. V., Komoedov A. V. Comparative energy-ecological assessment of soil tillage machines. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vissheye professionalnoye obrazovaniye = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2024;(1(73)):251–263. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-01-29>
18. Surkin V. I., Petelin A. A., Fedoseev S. Yu. Decreasing smoke of the exhaust gases of diesel engine through the process cylinders cutout. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroyeniye = Bulletin of South Ural State University, Series «Mechanical engineering industry»*. 2012;(33(292)):69–74. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18043723>

Вклад авторов: все авторы статьи внесли значимый вклад в проведение научных исследований и подготовку материалов к публикации, который выражается в разработке общей концепции и формировании плана исследования (Джаббаров Н. И., Добринов А. В., Эвиев В. А.), проведении анализа данных (Добринов А. В., Эвиев В. А.), подготовке структуры и смысловом наполнении рукописи (Джаббаров Н. И., Добринов А. В.).

Сведения об авторах

Джаббаров Нозим Исмоилович, доктор техн. наук, профессор, заведующий отделом технической диагностики, ремонта и эксплуатации машин Научного центра инновационных технологий и механизации сельского хозяйства Таджикской академии сельскохозяйственных наук, ул. проф. Х. Домуллоджанова, д. 3, пгт. Шарора, г. Гиссар, Республика Таджикистан, 735022, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8910-2625>

Добринов Александр Владимирович, кандидат техн. наук, доцент, заведующий учебно-экспериментальной базой ГАОУ ВО Ленинградской области «Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина», Петербургское шоссе, д. 10, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Российская Федерация, 196605, e-mail: priemlgu@lengu.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3242-1235>

✉ **Валерий Андреевич Эвиев**, доктор техн. наук, доцент, заведующий кафедрой агроинженерии, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова», ул. Пушкина, д. 11, г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация, 358000, e-mail: uni@kalmsu.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

Author contributions: All authors of the article made a significant contribution to the scientific research and preparation of materials for publication, which is expressed in the development of the general concept and the formation of the research plan (Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A.), conducting data analysis (Dobrinov A. V., Eviev V. A.), preparing the structure and semantic content of the manuscript (Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V.).

Information about the authors

Nozim I. Jabborov, DSc in Engineering, professor, Head of the Department of Technical Diagnostics, Repair, and Operation of Machines, Research Center for Innovative Technologies and Agricultural Mechanization of the Tajik Academy of Agricultural Sciences, 3 Prof. H. Domullojanov Street, Sharora settlement, Hissar, Republic of Tajikistan, 735022, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8910-2625>

Aleksandr V. Dobrinov, PhD in Engineering, associate professor, Head of the Educational and Experimental Base, Pushkin Leningrad State University, 10 Peterburgskoe Shosse, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196605, e-mail: priemlgu@lengu.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3242-1235>

✉ **Valery A. Eviev**, DSc in Engineering, associate professor, Head of the Department of Agricultural Engineering, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov, 11 Pushkin Street, Elista, Kalmykia, Russian Federation, 358000, e-mail: uni@kalmsu.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0329-2013>, e-mail: aviev@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author