

Научная статья

Original article

УДК 574

doi: https://doi.org/10.55186/2413046X_2026_11_8_113

edn: FZYYPN

**ИНДИКАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ЁМКОСТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ
INDICATOR MODEL FOR DIAGNOSING THE ECOLOGICAL
CAPACITY OF MUNICIPAL AGRICULTURAL LANDSCAPES**



Рожик Трифон Федорович, аспирант ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, Москва, Email - trozhik@mail.ru

Rozhik Trifon Fedorovich, Postgraduate student at the State University of Land Use Planning, Moscow, Email: trozhik@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме количественной оценки экологической ёмкости агроландшафтов на муниципальном уровне как основы для эколого-экономического обоснования землепользовательских решений. Показано, что преобладающие методы оценки земельных ресурсов, ориентированные на продуктивность, площадь и кадастровую стоимость, не учитывают предельные экологические ограничения и накопленный деградационный риск. Предложена индикаторная модель, включающая шесть взаимосвязанных блоков: почвенное состояние, эрозионную устойчивость, антропогенную нагрузку, восстановительный потенциал, управленческую готовность и социально-экономическую чувствительность. Описаны принципы отбора, нормирования и взвешивания индикаторов, порядок учёта критических ограничений и неопределённости данных.

Методика интегрирует данные государственного мониторинга, агрохимических обследований, дистанционного зондирования, кадастра и муниципальной статистики. Практическая ценность модели заключается в возможности ранжирования участков по допустимости дальнейшего использования, приоритетности защитных мер, необходимости введения ограничений и очередности бюджетного финансирования.

Abstract. The article addresses the problem of quantitative assessment of the ecological capacity of agricultural landscapes at the municipal level as a basis for ecological and economic substantiation of land use decisions. It is shown that the prevailing methods of land resource assessment, focused on productivity, area and cadastral value, do not take into account the ultimate environmental constraints and accumulated degradation risk. An indicator model is proposed, including six interrelated blocks: soil condition, erosion resistance, anthropogenic pressure, restoration potential, management readiness and socio-economic sensitivity. The principles of selection, normalization and weighting of indicators, the procedure for taking into account critical constraints and data uncertainty are described. The methodology integrates data from state monitoring, agrochemical surveys, remote sensing, cadastre and municipal statistics. The practical value of the model lies in the possibility of ranking sites by the admissibility of further use, the priority of protective measures, the need for the introduction of restrictions and the order of budget financing.

Ключевые слова: экологическая ёмкость, агроландшафт, землепользование, устойчивое развитие, муниципальная территория, ГИС-мониторинг, антропогенная нагрузка, почвозащитные мероприятия

Keywords: ecological capacity, agricultural landscape, land use, sustainable development, municipal territory, GIS monitoring, anthropogenic pressure, soil protection measures

Введение

Переход к рациональному использованию сельскохозяйственных земель предполагает смещение акцента с оценки земли как исключительно производственного фактора к её пониманию как сложной природно-хозяйственной системы. Земельный участок одновременно выполняет функции средства производства, пространственного базиса, природного объекта и охраняемого государством ресурса. В таком контексте особую значимость приобретает понятие экологической ёмкости территории, которое позволяет установить границы допустимого антропогенного воздействия, за пределами которых начинаются необратимые изменения почвенного покрова, гидрологического режима и ландшафтной структуры [1; 2; 7].

На муниципальном уровне экологические ограничения проявляются с наибольшей отчётливостью. Именно здесь принимаются конкретные решения о структуре посевов, размещении производственных объектов, сохранении полезащитных насаждений, организации севооборотов, проведении мелиорации и регламентации использования склоновых земель. Однако управленческая практика часто опирается на разрозненные показатели: урожайность, кадастровую стоимость, долю пашни, площадь нарушенных земель, наличие эрозии. Отсутствие единого интегрального инструмента приводит к тому, что фактическая экологическая ёмкость агроландшафта учитывается фрагментарно [3; 6].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью включения экологических пределов в экономическое обоснование землепользования. При внешне благополучных показателях текущей продуктивности территория может находиться в состоянии накопленного деградационного риска: снижение содержания гумуса, уплотнение почвы, распашка склонов, нарушение водного баланса и ослабление защитных элементов ландшафта формируют отложенные потери, которые проявляются

спустя несколько лет в виде падения урожайности, роста восстановительных затрат и уменьшения стоимости земельного капитала [3; 4; 7].

Цель настоящей работы – разработка индикаторной модели диагностики экологической ёмкости муниципальных агроландшафтов, пригодной для эколого-экономического обоснования землеустроительных решений. Для достижения цели поставлены следующие задачи: уточнить содержание понятия экологической ёмкости применительно к агроландшафтам; сформировать систему показателей; предложить алгоритм расчёта интегрального индекса; показать направления практического использования результатов диагностики в муниципальном управлении землепользованием [1; 3].

В содержательном плане экологическая ёмкость не тождественна текущему экологическому состоянию. Состояние характеризует уже сформировавшийся уровень качества земель на дату обследования, тогда как ёмкость отражает допустимый диапазон дальнейшей нагрузки и запас устойчивости системы. Два участка с близким содержанием гумуса могут иметь различную ёмкость вследствие неодинаковой крутизны склонов, водного режима, структуры угодий, обеспеченности защитными насаждениями и возможностей восстановления. Поэтому диагностическая модель должна учитывать не только фактические значения показателей, но и механизмы компенсации негативного воздействия.

Международные оценки состояния почв рассматривают эрозию, потерю органического вещества, уплотнение, загрязнение, засоление и нарушение водного режима как взаимосвязанные угрозы, влияющие одновременно на производственные и экосистемные функции земель [11; 12]. Для муниципального управления это означает необходимость отказаться от оценки каждого процесса изолированно. Низкая выраженность одного риска не компенсирует критическое значение другого, если последний

способен вызвать необратимое или экономически трудноустраняемое ухудшение территории.

Правовая основа для включения показателей плодородия и охраны земель в систему управления сформирована земельным законодательством и специальным регулированием обеспечения плодородия сельскохозяйственных земель [2; 9]. Порядок государственного учёта предусматривает систематизацию показателей состояния плодородия, что создаёт нормативную предпосылку для их использования в муниципальной индикаторной модели [10]. Предлагаемый индекс не заменяет обязательные обследования и нормативные требования, а объединяет их результаты в форму, пригодную для сравнения территорий и выбора управленческих приоритетов.

Исследовательская гипотеза состоит в том, что интегральная оценка, дополненная правилами критических ограничений и пространственной привязкой данных, позволяет точнее определить допустимый режим использования земель, чем анализ отдельных производственных или экологических показателей. Проверяемым следствием данной гипотезы является возможность получить для каждой территориальной единицы не только итоговый балл, но и объяснимый профиль факторов, определяющих снижение экологической ёмкости.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу исследования составляют положения экономики природопользования, землеустройства, теории устойчивого развития территорий и индикаторного анализа. Под экологической ёмкостью муниципального агроландшафта в настоящей статье понимается способность природно-хозяйственной системы воспринимать сельскохозяйственную и инфраструктурную нагрузку без перехода к деградиционному состоянию, при котором восстановление качества земель требует несоразмерно высоких

затрат или длительного периода ограничения хозяйственного использования [1; 3; 7].

В качестве информационной базы могут использоваться материалы государственного мониторинга земель, данные почвенных и агрохимических обследований, сведения Единого государственного реестра недвижимости, статистическая отчётность сельскохозяйственных организаций, картографические материалы, данные дистанционного зондирования и результаты выборочных полевых обследований. Для муниципального уровня важна не столько абсолютная полнота данных, сколько их сопоставимость и возможность регулярного обновления [3; 8].

Для каждого индикатора заранее устанавливаются направление влияния, единица измерения, источник данных, период актуальности и пороговые значения. Стимулирующие показатели, такие как доля защищённых лесополосами угодий или обеспеченность актуальными картами, повышают индекс. Дестимулирующие показатели, включая степень эродированности, уплотнение и долю нарушенных земель, снижают его. Такое разделение необходимо формализовать до расчёта, чтобы исключить произвольную интерпретацию результатов после получения итоговых значений.

Предлагаемая модель включает шесть диагностических блоков. Первый блок характеризует почвенное состояние: содержание гумуса, кислотность, обеспеченность элементами питания, степень уплотнения, засоления и загрязнения. Второй блок отражает эрозионную устойчивость: крутизну склонов, экспозицию, расчленённость рельефа, наличие водной и ветровой эрозии. Третий блок описывает антропогенную нагрузку: интенсивность обработки, долю нарушенных земель, уровень химизации, плотность транспортной и производственной инфраструктуры. Четвёртый блок учитывает восстановительный потенциал: наличие защитных лесных полос, возможность фитомелиорации, доступность органических удобрений,

водообеспеченность. Пятый блок отражает управленческую готовность: наличие проектов землеустройства, программ охраны земель, системы мониторинга и цифровых карт. Шестой блок характеризует социально-экономическую чувствительность территории: занятость в сельском хозяйстве, долю сельскохозяйственных земель в структуре муниципального фонда и зависимость местных бюджетов от аграрного производства.

Интегральный индекс экологической ёмкости агроландшафта предлагается рассчитывать как взвешенную сумму нормированных индикаторов. Нормирование проводится по шкале от 0 до 1, где 1 соответствует наиболее благоприятному состоянию, а 0 – критическому или недопустимому уровню нагрузки. Весовые коэффициенты могут определяться экспертным методом, методом анализа иерархий или на основе статистической чувствительности результирующего показателя к изменению частных индикаторов [5].

Нормирование целесообразно проводить не только по минимуму и максимуму наблюдаемой выборки, но и по экологически обоснованным порогам. Чисто статистическое нормирование делает оценку зависимой от состава сравниваемых муниципалитетов: неудовлетворительное значение может получить высокий балл лишь потому, что на других территориях положение ещё хуже. Нормативно-пороговый подход закрепляет значения 0 и 1 за критическим и целевым состояниями, а промежуточные значения рассчитываются линейно либо по кусочно-линейной функции. Пороговые значения должны опираться на действующие требования, материалы обследований и региональные природные условия [9; 10; 12].

Для пилотного расчёта может использоваться базовая система весов: почвенное состояние – 0,25; эрозионная устойчивость – 0,20; антропогенная нагрузка – 0,15; восстановительный потенциал – 0,15; управленческая готовность – 0,10; социально-экономическая чувствительность – 0,15. Такое распределение подчёркивает приоритет собственно природных

характеристик, но сохраняет значение управляемости и экономических последствий. Конкретные веса должны уточняться экспертной комиссией и проверяться анализом чувствительности; их сумма во всех вариантах равна единице.

Применение метода анализа иерархий позволяет сопоставлять блоки попарно и проверять согласованность экспертных суждений [5]. Однако экспертное взвешивание не должно быть единственным основанием модели. При накоплении временных рядов веса целесообразно сопоставлять с фактической чувствительностью урожайности, восстановительных затрат и показателей деградации к изменению частных индикаторов. Расхождение экспертных и статистических оценок является основанием для пересмотра структуры модели, а не для автоматического выбора одного из вариантов.

Интегральная сумма дополняется правилом критического ограничения. Если хотя бы один обязательный показатель достигает недопустимого уровня, территория не может быть отнесена к высокому или достаточному классу независимо от благоприятных значений остальных индикаторов. К таким ограничениям могут относиться интенсивная активная эрозия, опасное загрязнение, выраженное засоление либо состояние, при котором продолжение обработки ускоряет необратимую потерю плодородного слоя. Это правило предотвращает математическую компенсацию критического риска высокими баллами управленческой готовности или инфраструктуры.

Для неполных данных вводится показатель надёжности оценки. Он рассчитывается как доля индикаторов, обеспеченных актуальными и пространственно привязанными сведениями, с учётом их весов. При низкой надёжности итоговый класс обозначается как предварительный, а в рекомендации включается первоочередное обследование. Пропущенное значение не следует автоматически заменять средним по муниципалитету: такая процедура искусственно сглаживает локальные зоны риска и снижает диагностическую ценность карты.

Эрозионный блок может быть детализирован с использованием факторов рельефа, почв, осадков, растительного покрова и способов обработки, применяемых в моделях семейства RUSLE [18]. При этом расчёт потенциального смыва не подменяет полевую диагностику, а используется для пространственного ранжирования и выделения участков, требующих проверки. Исследования глобальной динамики эрозии подтверждают существенную зависимость потерь почвы от изменения землепользования и распространения почвозащитных практик [16].

Цифровое почвенное картографирование позволяет объединять точечные результаты обследований с рельефом, растительностью, гидрографией и материалами дистанционного зондирования. Методологически важно сохранять вместе с прогнозной картой слой неопределённости, поскольку расчётное значение между пунктами наблюдений не обладает той же достоверностью, что лабораторно подтверждённое измерение [17]. В индикаторной модели такой слой используется для планирования контрольных проб и корректировки показателя надёжности.

Временная сопоставимость обеспечивается фиксацией базового года и одинаковой периодичностью обновления каждого блока. Показатели с медленной динамикой, например свойства почвенного профиля, могут обновляться по циклу обследований, а быстро меняющиеся характеристики растительного покрова и фактического использования – ежегодно по дистанционным данным. Итоговый индекс должен сопровождаться датой расчёта и перечнем источников, чтобы последующие изменения можно было отделить от различий в методике и полноте информации.

$$I_{\Sigma} = \sum(w_i \times K_i),$$

где I_{Σ} – интегральный индекс экологической ёмкости; K_i – нормированное значение i -го индикатора; w_i – весовой коэффициент i -го индикатора; $\sum w_i = 1$. Значение индекса интерпретируется в диапазоне от 0 до 1: чем выше

показатель, тем выше способность территории сохранять устойчивость при существующем или планируемом режиме землепользования.

Таблица 1 – Блоки индикаторов экологической ёмкости муниципального агроландшафта

Блок	Содержание оценки	Управленческое значение
Почвенное состояние	Гумус, кислотность, элементы питания, уплотнение, засоление	Определяет производственную и восстановительную способность земель
Эрозионная устойчивость	Склоны, расчленённость рельефа, признаки водной и ветровой эрозии	Позволяет выделить участки с ограниченным режимом обработки
Антропогенная нагрузка	Интенсивность использования, химизация, плотность инфраструктуры	Показывает уровень давления хозяйственной деятельности
Восстановительный потенциал	Лесополосы, фитомелиорация, органические удобрения, водный режим	Определяет реалистичность и стоимость восстановления
Управленческая готовность	Проекты землеустройства, мониторинг, цифровые карты, программы охраны земель	Характеризует способность муниципалитета управлять рисками
Социально-экономическая чувствительность	Занятость, бюджетная зависимость, значимость аграрного сектора	Связывает экологические ограничения с экономическими последствиями

Результаты исследования

Основным результатом исследования является разработка логики перехода от разрозненной оценки земель к комплексной диагностике экологической ёмкости агроландшафтов. Такая диагностика позволяет не только фиксировать текущее состояние земель, но и оценивать возможные последствия управленческих решений в рамках сценарного подхода. Например, увеличение интенсивности обработки может быть экономически оправдано по показателю текущей урожайности, но экологически недопустимо при низкой эрозионной устойчивости, истощении гумуса и слабом восстановительном потенциале.

Результатом расчёта является не одно числовое значение, а диагностический профиль территории. Он включает итоговый индекс, оценки шести блоков, перечень критических факторов, коэффициент надёжности и динамику по отношению к базовому периоду. Такая форма представления делает модель объяснимой: муниципальный орган видит, за счёт каких характеристик участок отнесён к определённому классу и какие действия способны изменить оценку. Это принципиально для обоснования бюджетных расходов и согласования решений с землепользователями.

Пространственным результатом является серия взаимосвязанных карт: состояния почв, эрозионной опасности, антропогенной нагрузки, восстановительного потенциала, полноты данных и итоговых классов экологической ёмкости. Наложение этих слоёв позволяет выявлять территории, где невысокий интегральный балл обусловлен одним локальным фактором, и зоны множественного риска, требующие комплексной программы. Карта полноты данных предотвращает ошибочное восприятие малообследованных участков как устойчивых.

В рамках интерпретации следует разделять фактическую и перспективную ёмкость. Фактическая ёмкость рассчитывается при существующей структуре землепользования. Перспективная оценивается для сценария после внедрения запланированных мер: изменения севооборота, восстановления лесополос, регулирования стока, уменьшения интенсивности обработки или рекультивации. Разница между сценариями показывает ожидаемое изменение индекса и позволяет сравнивать варианты не только по стоимости, но и по экологическому результату [12; 15].

В рамках предложенной модели прямые производственные показатели не исключаются, а включаются в более широкий эколого-экономический контур. Это позволяет согласовать цели сельскохозяйственного производства с требованиями охраны земель. Для муниципального уровня особенно важно, что модель может применяться не только к отдельным участкам, но и к

группам земель, сельским поселениям, агропроизводственным зонам и территориям с различной специализацией.

Для практической апробации методики предлагается использовать поэтапный алгоритм. На первом этапе формируется цифровая картографическая основа муниципальной территории. На втором этапе выполняется сбор исходных почвенных, кадастровых, статистических и дистанционных данных. На третьем этапе показатели приводятся к сопоставимой шкале. На четвёртом этапе определяется вес каждого индикатора. На пятом этапе рассчитывается интегральный индекс. На шестом этапе составляется карта классов экологической ёмкости. На седьмом этапе формируются землеустроительные и природоохранные рекомендации [8].

Перед утверждением карты проводится контроль качества: проверяется происхождение данных, единообразие единиц измерения, корректность пространственного совмещения слоёв и отсутствие необъяснимых скачков на границах участков. Затем выполняется анализ чувствительности – повторный расчёт при допустимом изменении весов и порогов. Если небольшая корректировка параметров переводит территорию сразу через несколько классов, результат признаётся неустойчивым и требует дополнительного обследования либо более осторожной управленческой трактовки.

Классы индекса целесообразно связывать с типовыми управленческими пакетами. Для высокого класса основное значение имеют поддерживающие меры и предотвращение ухудшения. Для достаточного – адресная коррекция отдельных факторов. Для ограниченного – обязательный план снижения нагрузки с измеримыми сроками и контрольными показателями. Для критического – режим восстановления, при котором производственная деятельность допускается лишь в объёме, совместимом с прекращением деградиационного процесса. Такая связь превращает классификацию из описательного результата в инструмент действия.

Предлагается выделять четыре класса экологической ёмкости: высокий, достаточный, ограниченный и критический. Высокий класс допускает сохранение существующего режима землепользования при регулярном мониторинге. Достаточный класс требует локальных почвозащитных мероприятий и контроля изменения отдельных показателей. Ограниченный класс предполагает пересмотр структуры севооборотов, снижение интенсивности обработки, внедрение контурного земледелия и специальных агротехнических мер. Критический класс требует временного ограничения хозяйственного использования, рекультивации, консервации или перевода участка в режим восстановления.

Практическая ценность алгоритма состоит в том, что он может быть включён в состав муниципальных программ рационального использования земель. При наличии ГИС-платформы расчёт индекса может обновляться ежегодно, что позволяет отслеживать не только состояние земель, но и эффективность ранее принятых мер. Такой подход повышает прозрачность решений о финансировании почвозащитных мероприятий и снижает риск субъективного распределения ресурсов [3; 8].

Экономическая оценка мероприятий должна учитывать полный жизненный цикл решения. Помимо прямых капитальных и текущих затрат в расчёт включаются предотвращённое снижение продуктивности, уменьшение риска потери плодородного слоя, расходы на последующее восстановление и стоимость мониторинга. Для участков с ограниченной ёмкостью вариант с меньшей немедленной доходностью может быть предпочтительным, если он обеспечивает сохранение земельного капитала и снижает будущие обязательства муниципалитета [4; 15].

Индекс также может использоваться при формировании очередности финансирования. Приоритет определяется не только низким баллом, но и сочетанием трёх условий: высокой вероятностью дальнейшего ухудшения, значительным ожидаемым эффектом от вмешательства и достаточной

надёжностью исходных данных. Территория с критическим, но плохо изученным состоянием сначала получает финансирование на обследование; территория с подтверждённым риском и доступной технологией восстановления – на реализацию мероприятий.

Ежегодное обновление быстро меняющихся показателей и периодическое переобследование почв формируют замкнутый цикл управления: диагностика – планирование – выполнение мер – контроль результата – корректировка модели. Результативность оценивается по изменению тех индикаторов, на которые было направлено мероприятие, а не только по факту освоения средств. Такой подход соответствует принципу управления по измеримому экологическому результату и повышает сопоставимость муниципальных программ.

Особое значение имеет связь индекса экологической ёмкости с экономическими решениями. Для земель с высоким и достаточным уровнем ёмкости допустимы инвестиции в повышение продуктивности. Для земель с ограниченной ёмкостью приоритетными становятся почвозащитные мероприятия, изменение структуры посевных площадей, лесомелиорация и ограничение интенсивной обработки. Для земель с критическим уровнем экологической ёмкости экономически оправданным может быть не расширение производства, а предотвращение дальнейшего ущерба и восстановление природных функций территории [4; 7].

Таблица 2 – Интерпретация интегрального индекса экологической ёмкости

Значение индекса	Класс	Рекомендуемый режим землепользования
0,76–1,00	Высокий	Сохранение режима использования, ежегодный мониторинг, поддержание защитных элементов агроландшафта
0,51–0,75	Достаточный	Локальные почвозащитные мероприятия, корректировка агротехнологий, контроль динамики гумуса
0,26–0,50	Ограниченный	Снижение интенсивности обработки, изменение севооборотов, контурная организация территории
0,00–0,25	Критический	Ограничение хозяйственного использования, восстановительные мероприятия, рекультивация или консервация

Обсуждение результатов

Предложенный подход отличается от традиционной оценки тем, что экологические ограничения рассматриваются не как внешнее условие, а как самостоятельный фактор экономической эффективности. В краткосрочном периоде интенсивное использование земель может давать высокий валовой результат, однако в долгосрочном периоде деградация почв снижает урожайность, увеличивает затраты на восстановление и уменьшает стоимость земельного капитала. Следовательно, экологическая ёмкость должна рассматриваться как экономически значимая характеристика территории [4; 7].

Сопоставление с международными подходами показывает, что устойчивое управление почвами требует одновременного сохранения их производственных, регулирующих и средообразующих функций [11–14]. Предлагаемая модель переводит эти общие требования на муниципальный уровень посредством измеримых блоков и классов режима использования. Её достоинством является возможность совместить обязательные данные государственного учёта с дополнительными пространственными и

экономическими показателями, не создавая параллельную систему мониторинга.

Особенность интегральных индексов состоит в неизбежном упрощении сложной природной системы. Итоговое число удобно для ранжирования, но способно скрывать различия между территориями с одинаковым баллом. Поэтому индекс не должен публиковаться без профиля блоков и перечня ограничивающих факторов. Управленческое решение принимается по сочетанию итогового класса, критических индикаторов, надёжности данных и сценарной оценки, а не по одному числу.

Пространственный масштаб остаётся источником методической неопределённости. Усреднение по муниципальному образованию может маскировать локальный эрозионный очаг, тогда как чрезмерная детализация при редкой сети обследований создаёт иллюзию точности. Оптимальной является иерархическая схема: укрупнённый расчёт для стратегического планирования и контурная диагностика для проектирования конкретных мер. Переход между уровнями должен сопровождаться документированным правилом агрегации.

Цифровизация сама по себе не устраняет ограничения данных. Высокое пространственное разрешение спутникового изображения не гарантирует точного определения почвенного свойства, если отсутствуют репрезентативные наземные измерения. Цифровые методы наиболее эффективны как средство интерполяции, регулярного выявления изменений и выбора мест для обследования [17]. Приоритет должен отдаваться воспроизводимой процедуре, в которой исходные слои, алгоритмы обработки и версии расчёта сохраняются для последующей проверки.

Перенос модели в другой муниципалитет возможен при сохранении общей архитектуры блоков, но требует адаптации порогов и состава частных показателей. Природная зона, специализация сельского хозяйства, структура угодий и доступность данных влияют на диагностическую значимость

индикаторов. Унификация должна касаться правил расчёта и документирования, тогда как локальная настройка – экологически обоснованных порогов и управленческих мер.

Использование индикаторной модели особенно важно для территорий с мозаичной структурой землепользования. В пределах одного муниципального района могут сочетаться высокопродуктивные пашни, эрозионно опасные склоны, переувлажнённые участки, нарушенные земли и территории, требующие рекультивации. Универсальные нормативные решения в таких условиях не обеспечивают достаточной точности. Индикаторная диагностика позволяет дифференцировать меры управления и избежать как чрезмерных ограничений, так и неоправданной хозяйственной нагрузки.

Сильной стороной предложенной методики является её адаптируемость к различным информационным условиям. В базовом варианте муниципалитет может использовать доступные статистические и кадастровые данные, а в расширенном варианте – результаты дистанционного зондирования, цифровые модели рельефа, материалы агрохимического обследования и данные полевого мониторинга. По мере накопления данных точность индекса может повышаться без изменения общей логики расчёта [8].

Ограничением предложенной модели является зависимость результата от качества исходных данных. При отсутствии актуальных почвенных обследований или цифровых карт расчёт индекса может иметь предварительный характер. Поэтому внедрение методики должно сопровождаться развитием мониторинга земель, актуализацией картографической информации и созданием муниципальных баз данных. Важно также обеспечить методическое единообразие, чтобы показатели разных муниципальных образований были сопоставимы между собой.

Дополнительным ограничением является отсутствие в настоящем исследовании полномасштабной эмпирической апробации на

репрезентативной совокупности муниципальных образований.

Предложенные диапазоны классов и базовые веса имеют методический характер и подлежат калибровке. Следующий этап должен включать расчёты по территориям с различными природными условиями, сопоставление с данными полевых обследований и проверку того, насколько классы индекса связаны с фактической динамикой деградации и затратами на восстановление.

Риск субъективности снижается за счёт открытого протокола: публикуются перечень индикаторов, источники, даты данных, правила нормирования, матрица весов и результаты анализа чувствительности. Экспертное решение сохраняет значение, но становится проверяемым. При существенном изменении методики новый расчёт не должен напрямую сравниваться со старым; для сохранения временного ряда целесообразно пересчитать базовый период по обновлённым правилам.

Научная новизна подхода состоит в соединении землеустроительного, экологического и экономического компонентов в одном диагностическом инструменте. В отличие от оценки продуктивности, предлагаемая модель показывает не только текущую отдачу земель, но и их способность сохранять производственные функции при длительной нагрузке. В отличие от чисто экологического мониторинга, она позволяет трансформировать природные ограничения в управленческие и инвестиционные решения.

Прикладной эффект модели связан с возможностью её использования при разработке схем землеустройства, муниципальных программ охраны земель, инвестиционных проектов в аграрной сфере и обосновании мер государственной поддержки. Индекс экологической ёмкости может использоваться как критерий выбора территорий для первоочередного финансирования почвозащитных мероприятий, мелиорации, лесомелиорации и цифрового мониторинга [1; 3; 4; 7].

Практические рекомендации

Для внедрения предложенной модели на муниципальном уровне целесообразно формировать паспорта экологической ёмкости сельскохозяйственных земель. Такой паспорт должен включать картографическую схему, перечень частных индикаторов, интегральный индекс, класс территории, перечень рекомендуемых мероприятий и срок повторного обследования. Паспорт может использоваться как приложение к муниципальной программе развития агропромышленного комплекса и охраны земель [3; 6].

Начинать внедрение целесообразно с пилотной территории, по которой доступны агрохимические материалы, цифровая модель рельефа и сведения о фактическом использовании земель. На пилотном этапе формируется реестр данных, рассчитываются несколько вариантов весов, проверяются пороги и проводится совместное обсуждение результатов с землеустроителями, агрономами, экологами и представителями муниципального управления. После устранения противоречий методика закрепляется в регламенте и распространяется на остальные территории.

Вторым направлением является создание муниципальной ГИС-подсистемы мониторинга агроландшафтов. В неё следует включать границы земельных участков, данные о землепользователях, сведения о качестве почв, участки эрозионного риска, защитные лесные насаждения, мелиоративные системы, данные о фактическом использовании земель и результаты дистанционного мониторинга. Наличие такой подсистемы позволяет перейти от эпизодических обследований к регулярному управлению состоянием земель [8].

Организация данных требует единого каталога метаданных и устойчивых идентификаторов пространственных объектов. При обновлении границ участка или объединении контуров должна сохраняться связь с предыдущими измерениями. В противном случае временной ряд разрывается, а изменение индекса может отражать техническую

переразметку, а не реальное улучшение или ухудшение состояния. Доступ к исходным данным и результатам расчёта следует разграничивать, сохраняя при этом возможность экспертной проверки методики.

Для дистанционного мониторинга целесообразно закрепить перечень наблюдаемых признаков: изменение растительного покрова, появление открытой почвы, зарастание или выбытие из использования, трансформация гидрографической сети и нарушение защитных насаждений. Автоматически выявленные изменения должны проходить верификацию по снимкам более высокого разрешения либо при полевом обследовании. Такой порядок снижает риск принятия ограничительных решений на основании ошибки классификации.

Третьим направлением является экономическая привязка результатов диагностики к распределению мер поддержки. Чем ниже класс экологической ёмкости и выше риск деградации, тем выше должна быть приоритетность финансирования восстановительных мероприятий. При этом поддержка должна предоставляться не только на основании факта затрат, но и с учётом достигнутого экологического результата, подтверждённого мониторингом.

Эффективность поддержки оценивается через изменение целевых индикаторов относительно исходного уровня. Если финансировалось восстановление лесополос, контролируются их фактическая сохранность и влияние на эрозионный риск; если менялась система обработки – динамика покрытия почвы, признаков смыва и уплотнения. Финансовая отчётность дополняется экологической, а продолжение программы ставится в зависимость от подтверждённого результата.

Для повышения прозрачности рекомендуется ежегодно формировать краткий муниципальный отчёт: распределение земель по классам, основные факторы риска, выполненные мероприятия, изменение индекса и участки с недостаточной обеспеченностью данными. Публикация агрегированных

сведений не заменяет профессиональной интерпретации, но позволяет сопоставлять заявленные цели с результатами и уменьшает вероятность ситуативного изменения приоритетов.

Четвёртым направлением является включение результатов диагностики в землеустроительное проектирование. При разработке проектов организации территории следует учитывать классы экологической ёмкости, выделять зоны ограниченного землепользования, проектировать противоэрозионные мероприятия и устанавливать режимы хозяйственного использования, соответствующие природной устойчивости агроландшафта [1; 6].

Выводы

Экологическая ёмкость муниципальных агроландшафтов является ключевой характеристикой, позволяющей согласовать экономические интересы сельскохозяйственного производства с требованиями охраны земель. Предложенная индикаторная модель обеспечивает комплексную оценку почвенного состояния, эрозионной устойчивости, антропогенной нагрузки, восстановительного потенциала, управленческой готовности и социально-экономической чувствительности территории.

Методическое значение модели состоит в разделении четырёх компонентов диагностики: фактического состояния, допустимой нагрузки, восстановительного потенциала и управленческой способности реализовать необходимые меры. Их совместная оценка позволяет отличать территорию с временным ухудшением, но высокой восстановимостью, от участка, где дальнейшая нагрузка создаёт риск необратимых потерь. Правило критического ограничения не допускает маскировки опасного процесса благоприятными значениями других блоков.

Применение модели позволяет ранжировать земли по степени допустимости хозяйственного использования, определять приоритеты почвозащитных мероприятий и обосновывать дифференцированные режимы природопользования. Наиболее перспективным направлением дальнейшего

развития методики является её интеграция с ГИС-технологиями и системами регулярного мониторинга земель [3; 8].

Интеграция с цифровым почвенным картографированием и моделями эрозии расширяет аналитические возможности, но не отменяет наземную верификацию [16–18]. Практический эффект достигается тогда, когда расчёт связан с конкретными пакетами мер, сроками контроля и критериями бюджетной результативности. Тем самым экологическая ёмкость становится не статическим рейтингом, а ядром циклической системы муниципального управления земельными ресурсами.

Предлагаемый подход может быть использован при разработке муниципальных и региональных программ рационального землепользования, при корректировке землеустроительной документации, а также при оценке эффективности инвестиций в мероприятия по сохранению и восстановлению плодородия почв [1; 4; 6; 7].

Дальнейшее исследование должно быть направлено на эмпирическую калибровку весов и границ классов, оценку устойчивости результатов в разных природных зонах и разработку методики расчёта предотвращённого экономического ущерба. Апробация на нескольких муниципальных образованиях позволит определить минимально необходимый набор данных, при котором модель сохраняет диагностическую ценность, и сформировать сопоставимый регламент межтерриториального анализа.

Список источников

1. Волков С. Н. Землеустройство как основной механизм повышения эффективности использования и охраны земли // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. — 2013. — № 5. — С. 23–26.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ.
3. Есжанова Т. С., Ильиных А. Л., Жарников В. Б. Научно-методические и технологические аспекты формирования устойчивого сельскохозяйственного

- Московский экономический журнал. № 8. 2026
Moscow economic journal. № 8. 2026
землепользования // Вестник СГУГиТ. — 2025. — Т. 30, № 6. — С. 160–172.
— DOI: 10.33764/2411-1759-2025-30-6-160-172.
4. Артемова Е. И., Барсукова Г. Н. Оценка эффективности использования земельно-ресурсного потенциала в аграрном производстве // Экономика сельского хозяйства России. — 2025. — № 3. — С. 15–21. — DOI: 10.32651/253-15.
5. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий. — Москва : Радио и связь, 1993. — 320 с.
6. Сулин М. А. Современные проблемы землеустройства : монография. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 172 с. — ISBN 978-5-507-47970-2.
7. Хлыстун В. Н. Земельная политика в контексте устойчивого развития // Юг России: экология, развитие. — 2021. — Т. 16, № 4. — С. 208–215. — DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-208-215.
8. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. QGIS User Guide [Электронный ресурс]. — Open Source Geospatial Foundation. — URL: <https://docs.qgis.org/> (дата обращения: 26.08.2026).
9. Федеральный закон от 16.07.1998 № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения».
10. Приказ Минсельхоза России от 04.05.2010 № 150 «Об утверждении Порядка государственного учёта показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения» (зарегистрирован в Минюсте России 15.07.2010 № 17846).
11. FAO; ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) — Main Report. — Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. — 650 p.
12. FAO. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. — Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. — 16 p.

13. IPCC. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems / ed. by P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia et al. — 2019. — 896 p. — DOI: 10.1017/9781009157988.
14. UNCCD. Global Land Outlook 2: Land Restoration for Recovery and Resilience. — Bonn : United Nations Convention to Combat Desertification, 2022.
15. Lal R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation // Sustainability. — 2015. — Vol. 7, No. 5. — P. 5875–5895. — DOI: 10.3390/su7055875.
16. Borrelli P., Robinson D. A., Fleischer L. R. et al. An Assessment of the Global Impact of 21st Century Land Use Change on Soil Erosion // Nature Communications. — 2017. — Vol. 8. — Art. 2013. — DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.
17. McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B. On Digital Soil Mapping // Geoderma. — 2003. — Vol. 117, No. 1–2. — P. 3–52. — DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.
18. Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool D. K., Yoder D. C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). — Washington, DC : U.S. Department of Agriculture, 1997. — Agriculture Handbook No. 703. — 408 p.

References

1. Volkov S. N. Zemleustrojstvo kak osnovnoj mexanizm povыsheniya e`ffektivnosti ispol`zovaniya i oxrany` zemli // E`konomika sel`skoxozyajstvenny`x i pererabaty`vayushhix predpriyatij. — 2013. — № 5. — S. 23–26.
2. Zemel`ny`j kodeks Rossijskoj Federacii ot 25.10.2001 № 136-FZ.
3. Eszhanova T. S., Il`iny`x A. L., Zharnikov V. B. Nauchno-metodicheskie i texnologicheskie aspekty` formirovaniya ustojchivogo sel`skoxozyajstvennogo

zemlepol'zovaniya // Vestnik SGUGiT. — 2025. — T. 30, № 6. — S. 160–172. — DOI: 10.33764/2411-1759-2025-30-6-160-172.

4. Artemova E. I., Barsukova G. N. Ocenka effektivnosti ispol'zovaniya zemel'no-resursnogo potenciala v agrarnom proizvodstve // Ekonomika sel'skogo khozyajstva Rossii. — 2025. — № 3. — S. 15–21. — DOI: 10.32651/253-15.

5. Saati T. Prinyatie reshenij: Metod analiza ierarxij. — Moskva : Radio i svyaz', 1993. — 320 s.

6. Sulin M. A. Sovremennyye problemy zemleustrojstva : monografiya. — 3-e izd., ster. — Sankt-Peterburg : Lan', 2023. — 172 s. — ISBN 978-5-507-47970-2.

7. Xly'stun V. N. Zemel'naya politika v kontekste ustojchivogo razvitiya // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. — 2021. — T. 16, № 4. — S. 208–215. — DOI: 10.18470/1992-1098-2021-4-208-215.

8. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. QGIS User Guide [Elektronnyj resurs]. — Open Source Geospatial Foundation. — URL: <https://docs.qgis.org/> (data obrashheniya: 26.08.2026).

9. Federal'nyj zakon ot 16.07.1998 № 101-FZ «O gosudarstvennom regulirovanii obespecheniya plodorodiya zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya».

10. Prikaz Minsel'xoza Rossii ot 04.05.2010 № 150 «Ob utverzhdenii Poryadka gosudarstvennogo uchyota pokazatelej sostoyaniya plodorodiya zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya» (zaregistrirovan v Minyuste Rossii 15.07.2010 № 17846).

11. FAO; ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) — Main Report. — Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. — 650 p.

12. FAO. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. — Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. — 16 p.

13. IPCC. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems / ed. by P. R. Shukla, J.

Skea, E. Calvo Buendia et al. — 2019. — 896 p. — DOI: 10.1017/9781009157988.

14. UNCCD. Global Land Outlook 2: Land Restoration for Recovery and Resilience. — Bonn : United Nations Convention to Combat Desertification, 2022.

15. Lal R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation // Sustainability. — 2015. — Vol. 7, No. 5. — P. 5875–5895. — DOI: 10.3390/su7055875.

16. Borrelli P., Robinson D. A., Fleischer L. R. et al. An Assessment of the Global Impact of 21st Century Land Use Change on Soil Erosion // Nature Communications. — 2017. — Vol. 8. — Art. 2013. — DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.

17. McBratney A. B., Mendonça Santos M. L., Minasny B. On Digital Soil Mapping // Geoderma. — 2003. — Vol. 117, No. 1–2. — P. 3–52. — DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.

18. Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool D. K., Yoder D. C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). — Washington, DC : U.S. Department of Agriculture, 1997. — Agriculture Handbook No. 703. — 408 p.

© Рожик Т.Ф., 2026. *Московский экономический журнал*, 2026, № 8.