Обзорно-аналитическая статья/Review article
УДК 332.3:004.414.23
https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-122-133

Эрозия почв в Российской Федерации: анализ процессов, моделирование и стратегии устойчивого землепользования

В. М. Казиев[1], М. Ш. Махотлова[1]✉

[1] Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Российская Федерация

e-mail: m.mahotlova@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается одна из наиболее значимых эколого-экономических проблем Российской Федерации – эрозия почв. Работа посвящена комплексному анализу водной и ветровой эрозий, их специфике, взаимодействию и влиянию на снижение плодородия почв. Целью исследования является разработка методики количественной оценки вклада каждого типа эрозий, создание математической модели их совместного воздействия и прогнозирование долгосрочных последствий в условиях различных сценариев землепользования и изменения климата. В статье использованы методы полевых исследований, системного анализа, теоретические принципы агрохимии и математическое моделирование на основе баланса массы. Представлены статистические данные, демонстрирующие масштабы эрозионных процессов в РФ, и проанализировано их влияние на агрофизические и агрохимические свойства почв, урожайность сельскохозяйственных культур. Разработанная модель позволяет оценить вклад водной и ветровой эрозий, а также их совместного воздействия на деградацию почвенного покрова. На основе проведенного анализа предложены рекомендации по прогнозированию и управлению землепользованием для устойчивого развития сельского хозяйства и охраны почвенных ресурсов. В заключении подчеркивается необходимость комплексного подхода, включающего технологические, экологические, организационные и правовые меры для решения проблемы эрозии почв в России.

Ключевые слова: водная эрозия, ветровая эрозия, деградация почв, эрозионные процессы, борьба с эрозией, кумулятивный эффект, снижение урожайности, аграрный сектор

Для цитирования:
Казиев В. М., Махотлова М. Ш. Эрозия почв в Российской Федерации: анализ процессов, моделирование и стратегии устойчивого землепользования. *Вестник СГУГиТ.* 2026. Т. 31, № 5. С. 122–133. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-122-133

A deterministic modeling framework for assessing soil erosion dynamics in the Russian Federation: implications for sustainable land management

V. M. Kaziev[1], M. Sh. Makhotlova[1]✉

[1]Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov, Nalchik, Russian Federation

e-mail: m.mahotlova@yandex.ru

© В. М. Казиев, М. Ш. Махотлова, 2026

Abstract. The study addresses one of the most significant ecological and economic challenges facing the Russian Federation – soil erosion. The paper presents a comprehensive analysis of water and wind erosion, examining their specific characteristics, interaction, and impact on soil fertility decline. The objective of the research is to develop a methodology for quantifying the contribution of each erosion type, creating a mathematical model of their combined effects, and forecasting long-term consequences under various scenarios of land-use change and climate dynamics. The study employs field survey methods, systems analysis, theoretical principles of agrochemistry, and mass-balance-based mathematical modeling. It provides statistical data demonstrating the scale of erosion processes in the Russian Federation and analyzes their influence on the agrophysical and agrochemical properties of soils, as well as crop yields. The developed model allows for the assessment of individual contributions from water and wind erosion, as well as their synergistic impact on soil cover degradation. Based on the conducted analysis, recommendations are proposed for forecasting and managing land use to ensure sustainable agricultural development and protect soil resources. In conclusion, the necessity of an integrated approach encompassing technological, ecological, organizational, and legal measures to address soil erosion in Russia is emphasized.

Keywords: water erosion, wind erosion, soil degradation, erosion processes, erosion control, cumulative effect, yield decline, agricultural sector

For citation:
Kaziev V. M., Makhotlova M. Sh. (2026). A deterministic modeling framework for assessing soil erosion dynamics in the Russian Federation: implications for sustainable land management. *Vestnik SSUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 5. pp. 122–133. https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-5-122-133

Введение

Эрозия почв представляет собой одну из наиболее значимых эколого-экономических проблем, актуальных для Российской Федерации. Процесс разрушения и выноса плодородного верхнего слоя земли (гумуса) водными потоками или ветром происходит на обширных пространствах страны – от черноземных районов европейской части до аридных степей юга Сибири, писал основоположник школы научного почвоведения и географии почв В. В. Докучаев.

Процессы водной и ветровой эрозий создают реальные угрозы для устойчивости агропромышленного комплекса, продовольственной безопасности и экологического равновесия. Среди негативных последствий эрозионной динамики следует отметить существенную потерю плодородного слоя, загрязнение водных объектов, сокращение биоразнообразия и формирование овражной сети, отмечал русский советский геоморфолог и гидролог Н. И. Маккавеев.

Деградация земель, обусловленная эрозионными процессами, ведет не только к снижению продуктивности сельскохозяйственных угодий и росту издержек производства, но также оказывает долгосрочное влияние на состояние экосистем и качество жизни населения. В контексте глобальных климатических изменений и усиления антропогенного прессинга проблема эрозии почв требует безотлагательного и системного решения.

Цель настоящего исследования заключается в проведении комплексного анализа эрозионных процессов, выделении их специфики, определении ключевых факторов, позволяющих количественно оценить вклад каждого типа эрозии и их взаимодействия и влияния на снижение плодородия почвы и прогнозирование долгосрочных последствий при различных сценариях землепользования и изменения климата.

Задачами являются:

– проведение комплексного анализа современных эрозионных процессов и выявление специфики и особенностей различных типов эрозии (водная, ветровая) на территории РФ;

– предложение математической модели влияния водной и ветровой эрозий и их взаимодействие;

– разработка рекомендаций по прогнозированию и управлению землепользованием

для устойчивого развития сельского хозяйства и охраны почв в РФ.

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы совокупность фактических данных, теоретических принципов агрохимии, полевые эксперименты и современные методы системного анализа, в основе которых лежат теоретико-методологические основы, определяющие лимитирующие факторы плодородия, закон минимума (Ю. фон Либиха), закон оптимума и толерантности (Э. Шелфорда), объясняющий дефицит и избыток элементов питания.

Методика исследования основана на комплексном подходе, комбинирующим два вида эрозии с последующим эмпирическим объединением результатов через общие коэффициенты; математическое моделирование на основе баланса массы, где почва рассматривается как слой, из которого частицы удаляются либо силой воды, либо силой ветра, в зависимости от того, какая сила превышает свой пороговый уровень.

Результаты исследования

В современном аграрном секторе РФ одной из наиболее актуальных проблем является деградация земель, вызванная водной и ветровой эрозиями. Эрозионные процессы приводят к снижению содержания гумуса, увеличению плотности сложения почвенного покрова и уменьшению его пористости. Ухудшение агрофизических свойств, в свою очередь, провоцирует дальнейшее развитие эрозии, что может привести к полной утрате гумусового слоя.

Эрозия и дефляция почв обладают схожей этиологией, что обуславливает невозможность их изолированного рассмотрения. «Согласно статистическим данным, в структуре деградации почвенного покрова доля водной эрозии составляет около 56 %, ветровая эрозия – дефляция – 28 %, химическая деградация – 12 %, физическая деградация – 4 %» (рис. 1) [1].

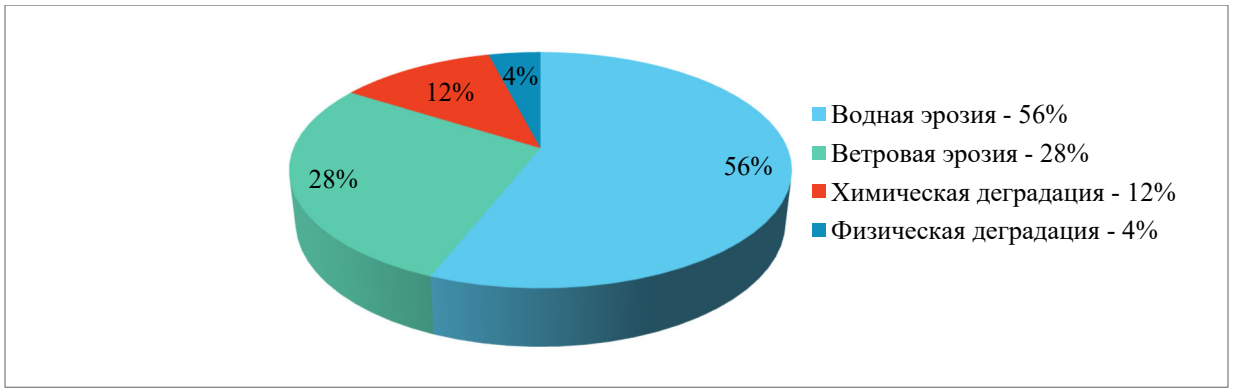

Рис. 1. Статистические данные эрозионных процессов в РФ

Данные рис. 1 показывают, что основными процессами деградации почвенного покрова являются водная и ветровая эрозии.

Интенсификация эрозионных процессов приводит к формированию в пределах сельхозугодий негативных элементов мезо- и микрорельефа, таких как промоины, рытвины и овраги. Их развитие трансформирует продуктивные земельные ресурсы в малопригодные [2]. Сопутствующим эрозии процессом является латеральный перенос смытой почвенной массы в речные системы и акватории водоемов. Данный процесс индуцирует их интенсивное заиление, что влечет за собой деградацию водных экосистем.

Помимо прямого ущерба, связанного с физической потерей почвенной массы, эрозия сопровождается существенной деградацией ее агрохимического потенциала. Происходит значительное снижение концентрации в почве биогенных элементов азота, подвижных форм фосфора и калия, широкого спектра эссенциальных микроэлементов, включая йод, медь, цинк, кобальт, марганец, никель и молибден [3, 4]. Кроме того, эрозия интенсифицирует проявление почвенной засухи. Это связано как с поте-

рей влаги за счет поверхностного стока, так и с увеличением непродуктивных потерь влаги из эродированных почвенных слоев вследствие ухудшения их физических свойств.

Табл. 1 демонстрирует масштабы эрозионных процессов в РФ и динамику изменений площадей, подверженных различным видам деградации.

Таблица 1. Масштабы эрозионных процессов и динамика изменений площадей, подверженных различным видам деградации

Показатель	Значение	Единица измерения	Период/год	Комментарии
Ежегодные потери плодородного слоя почвы	1,5	Млрд т	Ежегодно	Огромные объемы почвы теряются, что напрямую влияет на потенциальную урожайность и требует дополнительных мер по восстановлению плодородия
Годовой прирост площади эродированных почв	0,4–1,5	Млн га	Ежегодно	Диапазон значений показывает вариативность в зависимости от региона, климатических условий и применяемых методов земледелия
Годовой прирост площади оврагов	80–100	Тыс. га	Ежегодно	Овраги – это наиболее радикальная форма эрозии, приводящая к потере земли и нарушению инфраструктуры
Увеличение площади дефлированных земель	123,9	Тыс. га	2001–2025	Значительный прирост площади земель, подверженных ветровой эрозии. Требует особого внимания в засушливых и полузасушливых регионах
Увеличение площади земель, подверженных эрозии и дефляции одновременно	13,6	Тыс. га	2001–2025	Сочетание водной и ветровой эрозий создает наиболее сложные условия для восстановления и требует комплексных подходов к землепользованию

Данная таблица позволяет более четко увидеть проблемные зоны и оценить динамику изменений, что необходимо для разработки эффективных мер по борьбе с эрозией и восстановлению плодородия почв в России.

Уплотнение почвы и прочих субстратов вызывает нарушение воздушно-газового режима и других физических свойств. «В результате изменяются плотность и пористость субстрата, содержание кислорода в корнеобитаемом слое, что приводит к нарушению корневого питания и других физиологических процессов у растений» [5].

При эрозии почва теряет верхний, самый плодородный горизонт, в котором элементы питания растений накапливались тысячелетиями. «Так, если в верхнем слое почвы содержится в среднем 4 % гумуса, а годовой смыв почвы с 1 га, к примеру, равен 25 т, то за год почва потеряет 1 т гумуса. Как известно, общий азот в почве составляет примерно 5 % от содержания гумуса. Следовательно, при годовой потере с 1 га 1 т гумуса из почвы выносится 50 кг общего азота. При среднем содержании в пахотном слое 0,2 % фосфора в результате смыва 25 т почвы с 1 га сносится 50 кг общего фосфора. При содержании в пахотном горизонте 2 % калия его потеря с 1 га при смыве 25 т почвы составляет 500 кг» [6].

Наряду со смывом почвы и потерей питательных веществ при эрозии резко ухудшаются водно-физические свойства почв, что приводит к уменьшению их способности поглощать осадки. В связи с этим на склонах с эродированными почвами наблюдается большой поверхностный сток, особенно при выпадении ливней и интенсивном таянии снега [7].

Большой сток может влиять на урожай, о чем свидетельствуют расчеты. Так, при выпадении интенсивного ливня с количеством осадков 40 мм при коэффициенте стока 0,5 с каждого гектара стекает 200 м^3 воды. Если считать, что в среднем для получения единицы урожая зерна растения расходуют 700–1 000 единиц воды, то только от одного ливня с каждого гектара теряется такое количество воды, которое могло бы обеспечить дополнительное получение 0,2–0,3 т зерна [8].

Деградация почв, вызванная эрозией, истощением питательных веществ, засолением и

другими факторами, напрямую влияет на способность земли обеспечивать оптимальные условия для роста растений.

Когда почва теряет свою структуру и плодородие, растения испытывают дефицит воды, питательных элементов и кислорода, что приводит к снижению урожайности.

Для лучшего понимания масштаба проблемы эта зависимость представлена в виде табл. 2.

Таблица 2. Степень деградации почв, ее влияние на урожайность и последствия

Степень деградации почвы	Влияние на урожайность (приблизительно)	Последствия
Слабая	Снижение на 10–20 %	Небольшое снижение урожайности, возможно увеличение затрат на удобрения и средства защиты растений
Умеренная	Снижение на 20–50 %	Существенное снижение урожайности, ухудшение качества продукции, повышение риска потери урожая в неблагоприятные годы
Сильная	Снижение на 50 % и более	Критическое снижение урожайности, потеря возможности выращивания определенных культур, опустынивание земель, социальные и экономические проблемы

Важно отметить, что эти цифры являются оценочными и могут варьироваться в зависимости от типа почвы, климатических условий, вида культуры и применяемых технологий земледелия. Однако общая тенденция очевидна: чем сильнее деградирована почва, тем ниже урожайность и выше риски для сельского хозяйства [9].

Взаимосвязь между деградацией почвы и урожайностью можно описать как экспоненциальную зависимость. На начальных этапах деградации падение урожайности может быть относительно медленным, но по мере углубления процесса она ускоряется и может привести к полной потере плодородия (табл. 3).

Таблица 3. Зависимость степени деградации на урожайность культур*

Тип деградации	Показатель	Влияние на урожайность
Потеря гумуса	Снижение на 0,1 %	Снижение на 0,5–1,5 %
Уплотнение	Увеличение плотности на 0,1 г/см³	Снижение на 5–15 %
Закисление	Снижение *pH* ниже 5,0	Снижение на 30–60 %
Засоление	Увеличение электропроводности на 1 *dS*/м	Снижение на 10–25 %
Эрозия	Потеря 1 см верхнего слоя	Снижение на 3–8 %

* – степень влияния деградации на урожайность культур зависит от вида культуры и исходного плодородия.

Следует отметить, что структура ущерба, причиняемого деградационными процессами, проявляет системную зависимость, происходит нелинейно и ускоряется с течением времени, определяя продуктивность (урожайность) и стоимость сельскохозяйственной продукции.

Эрозия оказывает существенное негативное влияние на состояние почвенного покрова, а во многих случаях разрушает его полностью. Падает биологическая продуктивность растений, снижаются урожаи и качество всех сельскохозяйственных культур.

Эрозия – это совокупный ущерб от двух типов деградации, которую можно выразить в виде нелинейной математической модели [10].

Предлагаемая модель позволяет количественно оценить вклад каждого типа эрозии и их взаимодействия в снижение плодородия почвы и спрогнозировать долгосрочные последствия при различных сценариях землепользования и изменения климата.

Водная эрозия преимущественно воздействует на верхние, наиболее плодородные горизонты, вынося тонкодисперсные частицы и питательные элементы. Ветровая эрозия также выносит мелкозем, что способствует засыпанию посевов, а в сочетании с водой – усиливает смыв [11].

В рамках модели задаемся основными качественными показателями почвы P_i: C_{org} – содержание органического углерода (гумуса), %.;

N_{otot} – содержание общего азота, %; P_{avi} – содержание доступных форм фосфора и калия, мг/кг; h – мощность гумусового горизонта, см; BD – плотность сложения, г/см³; *Texture* – гранулометрический состав (содержание физической глины/ила); Agg_{stab} – агрегатная устойчивость, %.

Первоначально смоделируем воздействие водной и ветровой эрозии по отдельности.

Модель водной эрозии:

$$E_w = R \times K \times LS \times C \times P, \qquad (1)$$

где E_w – среднегодовая потеря почвы от водной эрозии, т/га/год;

R – фактор эрозионной опасности осадков;

K – фактор эродируемости почвы есть функция $K = f$ (*Texture,* C_{org}, Agg_{stab}, BD). Потери гумуса и агрегатов увеличивают K;

LS – топографический фактор (длина и уклон склона);

C – фактор растительного покрова и управления;

P – фактор противоэрозионных практик.

Модель ветровой эрозии:

$$E_d = f\left(I, K_d, C_d, L_d, V\right), \qquad (2)$$

где E_d – среднегодовая потеря почвы от дефляции, т/га/год;

I – показатель эродируемости почвы ветром есть функция $I = f$ (*Texture,* C_{org}, Agg_{stab}, BD, *Увлажненность*). Сухая, распыленная почва с низким содержанием гумуса имеет высокий I;

K_d – фактор шероховатости поверхности;

C_d – климатический фактор (скорость ветра, влажность воздуха);

L_d – длина неветроустойчивого поля;

V – фактор растительного покрова.

Взаимодействие водной и ветровой эрозий рассматривается как сумма эффектов совместного воздействия (S), процессы которых независимы друг от друга:

$$S = \alpha \times \left(E_w \times E_d\right) / \left(E_w + E_d + \varepsilon\right), \qquad (3)$$

где α – эмпирический коэффициент (α > 0), определяющий силу взаимодействия. Например, предварительный смыв водой может увеличить последующую дефляцию, и наоборот, ветровая эрозия создает микрорельеф, изменяющий LS-фактор для воды;

ε – малая константа, чтобы избежать деления на ноль.

Таким образом, совокупный эрозионный вынос примет форму

$$E_{total} = E_w + E_d + S. \qquad (4)$$

Изменение любого качественного показателя P_i за временной шаг Δt (год) описывается уравнением баланса: вход – выход – потери от эрозии

$$\Delta P_i / \Delta t = Input_i - Output_i - Loss_{erosion-i}, \qquad (5)$$

следовательно,

$$\Delta P_{i(t)} = \beta_i \times \left[E_{w(t)} \times F_{w(Pi)} + E_{d(t)} \times F_{d(Pi)} + \gamma_i \times S_{(t)} \right] \times P_{i(t)} / M_{top(t)}, \qquad (6)$$

где $\Delta P_{i(t)}$ – изменение показателя P_i за год;

β_i – коэффициент обогащения/обеднения для показателя P_i. Для гумуса и питательных элементов $\beta_i \leq 1$, так как эрозия выносит их концентрированно (обогащенный смыв). Для плотных или крупных фракций $\beta_i \approx 1$;

$F_{w(Pi)}$, $F_{d(Pi)}$ – функции селективности эрозии. Показывают, какая доля показателя P_i содержится в выносимом материале. Например, F_w (C_{org}) ≈ 2,0 – 3,0; F_d (C_{org}) ≈ 1,5 – 2,0. Для песчаных фракций функция может быть < 1;

γ_i – коэффициент влияния совместного воздействия на показатель P_i;

$M_{top(t)}$ – масса пахотного слоя на единице площади (т/га). Это ключевая переменная состояния, которая сама уменьшается от эрозии: $M_{top(t+1)} = M_{top(t)} - E_{total(t)} \times \Delta t$. Уменьшение массы слоя приводит к концентрированному снижению P_i.

Для оценки общего ущерба введем безразмерный индекс IQD_t – интегральный показатель деградации почвенного качества

$$IQD_t = \sum \left[w_i \times \left(P_{i(t)} / P_{i(0)} \right) \right], \qquad (7)$$

где w_i – вес (важность) показателя, $\Sigma\, w_i = 1$;

$P_{i(0)}$ – исходное (базовое) значение показателя. Если $IQD_t = 1$ – качество не изменилось, IQD_t – < 1 – качество деградировало. Например, IQD_t = 0,7 означает 30-процентную потерю исходного качества.

Модель учитывает важнейшую обратную связь: потери гумуса (C_{org}) и агрегатной устойчивости (Agg_{stab}) ведут к росту факторов эродируемости (K и I), что создает кумулятивный эффект.

Кумулятивный эффект для серии воздействий можно представить в виде аддитивной модели с учетом конкретных деградационных воздействий и прекращения данных воздействий на почву.

$$CI_{total} = Y_{\text{общая}-i} \times 1 - \left(1-k\right)^n / k\,, \quad (8)$$

где CI_{total} – совокупный эффект;

$Y_{\text{общая-}i}$ – общая доля потерь i-й урожайности от деградации – $\sum_{i-1}^{n} D_i$ – суммарный вид воздействия i-й формы совместной деградации;

n – временной отрезок воздействия, год;

k – коэффициент воздействия за период, есть потеря качественных характеристик F от вида деградации.

Модель требует настройки коэффициентов (α, β_i, γ_i, F_w, F_d) на основе данных полевых или лизиметрических экспериментов в конкретном регионе.

В итоге формула (8) выражает экспоненциальную зависимость изменения качественных показателей от интенсивности эрозии, учитывая чувствительность почвы к этому процессу.

Меняя факторы воздействия P_i (севооборот, покровные культуры) и P/V (противоэрозионные приемы), можно моделировать эффективность различных почвозащитных стратегий.

Проведение анализа чувствительности математической модели к изменениям входных параметров представляет собой важный этап подтверждения достоверности и оценки ее надежности [12].

Любые изменения, обусловленные трансформацией почвенного свойства (гранулометрического состава, органического вещества) или антропогенными факторами землепользования, приводят к соответствующему линейному изменению прогнозируемой устойчивости. Следовательно, в регионах с высокой пространственно-временной изменчивостью почвенного покрова критически важной становится задача точной калибровки и периодической актуализации коэффициентов (α, β_i, γ_i, F_w, F_d), а также учет сценариев его возможной эволюции.

Параметры, отражающие интенсивность эрозионного процесса, обладают значительным потенциалом нелинейного воздействия на модель. Даже малые их вариации, вызванные изменениями гидроклиматических характеристик (например, количества и кинетической энергии осадков) или морфометрических показателей рельефа (крутизны, длины склона), могут запускать каскадные увеличение потери гумуса. В условиях горных и предгорных территорий РФ, где рельеф выступает ведущим фактором эрозионных процессов, чувствительность модели относительно показателя их интенсивности проявляется наиболее выраженно. В период с 2020 по 2024 гг. среднегодовые потери почвы на склоновых землях КБР, Ставропольского и Краснодарского краев составляют 10–15 т/га. На отдельных участках, где применяется традиционная вспашка, потери достигают 25–30 т/га. Участились случаи формирования оврагов после ливневых дождей (прирост до 5–10 га в год в отдельных районах) [13].

Таким образом, количественная оценка чувствительности модели позволяет идентифицировать наиболее уязвимые звенья расчетной схемы, определить пороговые значения влияния и обосновать необходимость приоритетных исследований, направленных на уточнение этих параметров.

Оценка интенсивности эрозионных процессов почв на территории Российской Федерации требует применения интегральной методологии, объединяющей натурные исследования, анализ ретроспективных и актуальных данных, а также математическое моделирование [14]. Ниже представлена поэтапная схема организации работ:

– натурные (полевые) исследования – формирование сети мониторинговых полиго-

нов, репрезентативных для основных типов землепользования, классов крутизны и экспозиции склонов. На них предусматривается систематическое измерение величин смыва почвы, оценка структурного состояния, гранулометрического состава и содержания органического углерода. Отобранные образцы используются для лабораторных анализов и последующей калибровки прогностических моделей;

– анализ существующих информационных ресурсов – привлечение материалов дистанционного зондирования (спутниковые и аэрофотоснимки) для оценки динамики растительного покрова и степени деградации земель. Обработка метеорологических данных (осадки, температурный режим, скорость ветра) с целью расчета климатического показателя эрозионной опасности. Использование архивных материалов по землеустройству и цифровых почвенных карт;

– моделирование эрозионно-кумулятивных процессов – применение эмпирических и физико-математических моделей для расчета интенсивности эрозии в различных ландшафтных условиях. Тестирование и калибровка моделей на основе данных полевого мониторинга. Разработка серии картографических продуктов, отображающих пространственное распределение эрозионной угрозы, а также прогноз ее изменения во времени;

– определение коэффициентов эрозионной чувствительности на основе лабораторных исследований устойчивости почв к размыву с учетом типа землепользования и характеристик растительного покрова [15]. Агрегация справочных значений из баз данных и научной литературы. Проведение статистического анализа и геостатистического моделирования для оценки пространственной вариабельности в пределах территории РФ.

Таким образом, полная достоверность параметров интенсивности совместной эрозии возможна лишь при изучении факторов эрозионной пропорциональности и совмещении разнородных данных полевых исследований с данными моделирования эрозионных процессов [16]. Реализация данного подхода позволит создать достоверные карты эрозионных рисков, осуществлять прогноз динамики деградации почв и формировать научно обоснованные решения в сфере управления земельными ресурсами.

Для оптимизации процесса реализации указанных мер целесообразно предложить следующий комплекс научно-организационных мероприятий:

– формирование интегрированной информационной системы: консолидация разнородных данных (результатов полевых исследований, материалов дистанционного зондирования Земли, метеорологических наблюдений, картографических данных о почвенном покрове и др.) в единую структурированную базу данных, обеспечивающую доступность и совместимость информации для исследовательского сообщества;

– усиление межведомственной координации: установить устойчивые механизмы взаимодействия между организациями и ведомствами, осуществляющими деятельность в сфере изучения и управления земельными ресурсами (Росгидромет, Россельхознадзор, Минсельхоз и др.), с целью интеграции методологических и информационных ресурсов;

– развитие кадрового потенциала: организация системной подготовки специалистов, владеющих современными компетенциями в области исследования эрозионных процессов, методов полевой диагностики, технологий дистанционного зондирования, математического моделирования и статистической обработки данных;

– разработка стратегического документа национального уровня: создание научно обоснованной национальной стратегии по противодействию почвенной эрозии, учитывающей региональную специфику и основанной на актуальных данных мониторинга;

– внедрение инновационных технологических решений: активное применение современных инструментов, таких как геоинформационные системы (ГИС), беспилотные авиационные комплексы (БПЛА) и методы искусственного интеллекта, для повышения точности и оперативности мониторинга, а также прогнозного моделирования эрозионной динамики.

Реализация данного комплекса мер позволит сформировать целостную систему полу-

чения достоверных и симптоматических данных об эрозии почв на территории Российской Федерации, что создаст основу для разработки научно обоснованных мероприятий по предотвращению деградации земель и обеспечению устойчивого использования почвенных ресурсов.

Заключение

Анализ эрозионных процессов и современных подходов с деградацией почв в Российской Федерации показывает, что проблема является комплексной и требует постоянного внимания.

Результаты и методики, представленные в статье, находятся на переднем крае современной науки о почвах и экологии, в разрезе которых авторы предлагают разнообразные решения. Главными среди них являются:

1) технологический подход – точное земледелие. Внедрение инновационных агротехнологий, таких как террарийное земледелие, системы капельного и дождевого полива с контролем, применение ортогидропонных систем, использование укрытий и др. Эти методы направлены на оптимизацию водного режима и снижение эрозионной нагрузки на почву;

2) экологический подход. Борьба с деградацией почв невозможна без восстановления и сохранения природных ресурсов. Это создание и охрана необлесенных зон, рекультивация земель, организация зеленых зон в городах и на перекрестках дорог для защиты от ветровой эрозии;

3) организационный и правовой подход. Прогнозирование долгосрочных последствий при различных сценариях землепользования. Укрепление нормативной базы, строгий контроль за соблюдением охранных мероприятий, создание эффективных механизмов государственного регулирования, межведомственной координации и стратегического планирования.

Проведенное исследование эрозионных процессов в Российской Федерации и разработанные методики количественной оценки, моделирования и прогнозирования находятся в русле актуальных мировых научных трендов в области агроэкологии, устойчивого землепользования, мониторинга земель. Основные положения и результаты работы демонстрируют высокую степень соответствия современным научным подходам.

В заключение можно констатировать, что борьба с эрозией и деградацией почв в России – это постоянная и важная задача, решение которой напрямую влияет на продовольственную безопасность страны, состояние окружающей среды и благополучие населения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Литвин Л. Ф., Голосов В. Н. Современная динамика факторов эрозии почв на территории России. Эрозия почв и русловые процессы. М., 2022. С. 36–66.

2. Головин П. Н., Богданов В. Л. Применение ГИС-технологий для оценки и повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель в агроландшафтах на основе дистанционных и полевых данных. Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29, № 1. С. 73–87. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87.

3.Тишина Р. Д. Информация о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в РФ: достоверность и перспективы. Экономика, управление и цифровые технологии в АПК 2022 : сборник трудов, приуроченных к Международному научному студенческому форуму, посвященному 100 лет Института экономики и управления АПК Российского государственного аграрного университета МСХА имени К. А. Тимирязева. 2022. С. 111–113.

4. Есжанова Т. С., Ильиных А. Л. Проблемы устойчивого развития и его задачи в сфере земельных отношений, землеустройства и кадастра. Вестник СГУГиТ. 2023. Т. 28, № 6. С. 99–104. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-99-104.

5. Носов А. В., Позубенкова Э. И., Гурьянова Н. М. Состояние и пути повышения использования земель сельскохозяйственного назначения Пензенской области. Нива Поволжья. 2022. № 3 (63). С. 1003. DOI 10.36461/NP.2022.63.3.006.

6. Жумагалиева Н., Айтхожаева Г., Пентаев Т., Жилдикбаева А. Анализ проблем неиспользования земель сельскохозяйственного назначения с учетом их деградации. Ізденістер, Нәтижелер. 2024. № 1 (101). С. 101–111. DOI 10.37884/1-2024/22.

7. Новиков А. В., Хабарова И. А., Хабаров Д. А., Скрипко Е. С. Предложения по предотвращению деградации земель сельскохозяйственного назначения. Вектор ГеоНаук. 2022. Т. 5, № 4. С. 13–17. DOI 10.24412/2619-0761-2022-4-13-17.

8. Kellogg Ch. E. Soil and Land Classification. American Journal of Agricultural Economics. 1951. Vol. 33, Issue 4. Part 1. P. 499–513.

9. Хакбердиев О. Э., Шамсиддинов Т. Ш. Деградация почв и влияние эрозии на агрохимические свойства почв. International Independent Scientific Journal. 2020. № 13-2 (13). С. 27–29.

10. Stocker C., Koeva M., Nkerabigwi P., Zevenbergen J. UAV Technology: Opportunities to Support the Updating Process of the Rwandan Cadastre. FIG Working Week 2020. Smart Surveyors for Land and Water Management. 2020. Amsterdam, Netherlands.

11. Сейдуллаев Б., Пиргулыев Б., Ишангулыев Д. Причины эрозии почвы и способы борьбы с ней. Академическая публицистика. 2024. № 9-1. С. 48–51.

12. Сасиков А. С., Сатрачев Р. З., Шикова Д. З. Эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения. Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты. Материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2025. С. 166–169.

13. Выродова Е. С. О некоторых причинах деградации почв Ставропольского края. Экономика и управление. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск, 2023. С. 212–216.

14. Спиридонычев В. А. Физические методы исследования почв и эрозии почв. Проблемы развития малого и среднего бизнеса в сельском хозяйстве в условиях цифровой экономики. Материалы II Международной научно-практической конференции. Казань, 2024. С. 378–381.

15. Рябцева Н. А., Немолякин В. П., Лукичев Е. А. Основные направления деградации почв ростовской области и закономерности их развития. Инновационные пути решения актуальных проблем АПК России. Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. В 2-х т. Персиановский, 2023. С. 85–89.

16. Моисеев К. Г., Терлеев В. В., Смирнов Н. С. Топологическая размерность структуры почвы и некоторые аспекты деградации почв. Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: сборник докладов XVIII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В. В. Докучаева». Курск, 2023. С. 204–208.

REFERENCES

1. Litvin, L. F., Golosov, V. N. (2022). Modern dynamics of soil erosion factors in Russia Sovremennaya dinamika faktorov erozii pochv na territorii Rossii. *V sbornike: eroziya pochv i ruslovyye protsessy [In the collection: soil erosion and riverbed processes].* 36–66. Moscow [in Russian].

2. Golovin, P. N., Bogdanov, V. L. (2024). The use of GIS technologies to assess and improve the efficiency of agricultural land use in agrolandscapes based on remote and field data *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT*], Vol. 29. No. 1, 73–87. DOI: 10.33764/2411-1759-2024-29-1-73-87 [in Russian].

3. Tishina, R. D. (2022). Information on the condition and use of agricultural land in the Russian Federation: reliability and prospects *V sbornike: Ekonomika, upravleniye i tsifrovyye tekhnologii v APK 2022. Sbornik trudov, priurochennykh k Mezhdunarodnomu nauchnomu studencheskomu forumu, posvyashchennomu 100-let Instituta ekonomiki i upravleniya APK Rossiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta MSKHA imeni K. A. Timiryazeva [In the collection: Economics, Management and digital technologies in the agro−industrial complex - 2022. A collection of papers dedicated to the International Scientific Student Forum dedicated to the 100th anniversary of the Institute of Economics and Management of the Agro-Industrial Complex of the Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev]* (pp.111–113). Moscow [in Russian].

4. Eszhanova, T. S., Ilinykh, A. L. (2023). Problems of sustainable development and its tasks in the field of land relations, land management and cadastre *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT*], Vol. 28. No. 6, 99–104. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-6-99-104 [in Russian].

5. Nosov, A. V., Pozubenkova, E. I., Guryanova, N. M. (2022). The state and ways to increase the use of agricultural land in the Penza region. *Niva Povolzhya [The field of the Volga region].* No. 3 (63), 1003. DOI 10.36461/NP.2022.63.3.006.

6. Zhumagalieva, N., Aitkhozhayeva, G., Pentaev, T., Zhildikbaeva, A. (2024). Analysis of problems of non-use of agricultural land, taking into account their degradation. *Izdenister, Nətijeler [Izdenister, Natizheler].* No. 1 (101), 101–111. DOI 10.37884/1-2024/22 [in Russian].

7. Novikov, A. V., Khabarova, I. A., Khabarov, D. A., Skripko, E. S. (2022). Proposals to prevent degradation of agricultural land *[Vektor GeoNauk.] Vector Geosciences.* Vol. 5. No. 4, 13–17. DOI 10.24412/2619-0761-2022-4-13-17 [in Russian].

8. Kellogg, Ch. E. (1951). Soil and Land Classification. American Journal of Agricultural Economics. Vol. 33, Issue 4. Part 1, 499–513.

9. Khakberdiev, O. E., Shamsiddinov, T. S. (2020). Soil degradation and the effect of erosion on agrochemical properties of soils. *International Independent Scientific Journal*. No. 13-2 (13), 27–29. [in Russian].

10. Stocker, C., Koeva, M., Nkerabigwi, P., Zevenbergen, J. (2020). UAV Technology: Opportunities to Support the Updating Process of the Rwandan Cadastre. *FIG Working Week Smart Surveyors for Land and Water Management.* Amsterdam, Netherlands.

11. Seydullaev, B., Pirgulyev, B., Ishangulyev, D., (2024). Causes of soil erosion and ways to combat it *Akademicheskaya publitsistika [Academic journalism].* No. 9-1, 48–51 [in Russian].

12. Sasikov, A. S., Satrachev, R. Z., Shikova, D. Z. (2025*).* Efficiency of agricultural land use *V sbornike: aktual'nyye problemy agrarnoy nauki: prikladnyye i issledovatel'skiye aspekty. Materialy v Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. [In the collection: actual problems of agricultural science: applied and research aspects. Materials of the v All-Russian (national) scientific and practical conference].* (pp. 166–169). Nalchik [in Russian].

13. Vyrodova, E. S. (2023). About some of the causes of soil degradation in the Stavropol Territory. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [In the collection: Economics and Management. Materials of the All-Russian scientific and practical conference].* (pp. 212–216). Novocherkassk [in Russian].

14. Spiridonychev, V. A. (2024). Physical methods of soil research and soil erosion. *V sbornike: Problemy razvitiya malogo i srednego biznesa v sel'skom khozyaystve v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki. Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [In the collection: Problems of development of small and medium-sized businesses in agriculture in the digital economy. Materials of the II International Scientific and Practical Conference].* (pp. 378–381). Kazan [in Russian].

15. Ryabtseva, N. A., Nemolyakin, V. P., Lukichev, E. A. (2023). The main directions of soil degradation in the Rostov region and patterns of their development. *V sbornike: Innovatsionnyye puti resheniya aktual'nykh problem APK Rossii. Materialy vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh tomakh [In the collection: Innovative ways to solve urgent problems of the Russian agro-industrial complex. Materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. In 2 volumes].* (pp. 85–89). Persianovsky [in Russian].

16. Moiseev, K. G., Terleev, V. V., Smirnov, N. S. (2023). Topological dimension of soil structure and some aspects of soil degradation. *V sbornike: Aktual'nyye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya. Sbornik dokladov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Kurskogo otdeleniya MOO «Obshchestvo pochvovedov imeni V.V. Dokuchayeva». [In the collection: Actual problems of soil science, ecology and agriculture. Collection of reports of the XVIII International Scientific and practical Conference of the Kursk branch of the NGO "Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev"].* (pp. 204–208). Kursk [in Russian].

Об авторах

Валерий Михайлович Казиев – кандидат экономических наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости.

Маратина Шагировна Махотлова – кандидат биологических наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости.

Author details

Valery M. Kaziev – PhD, Associate Professor, Department of Land Management and Real Estate Expertise.

Maratina Sh. Makhotlova – PhD, Associate Professor, Department of Land Management and Real Estate Expertise.

Получено / Received 22.12.2025
Поступила после рецензирования / Revised 26.01.2026
Принята к публикации / Accepted 10.09.2026