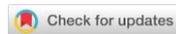


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-177-207



Ссылки для цитирования:

Жидкин А.П., Макаров О.А., Попова А.Р. Модификация методики определения размеров ущерба от деградации земель под воздействием эрозии почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 117. С. 177-207. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-177-207

Cite this article as:

Zhidkin A.P., Makarov O.A., Popova A.R. Modification of the methodology for determining the amount of damage from land degradation caused by soil erosion, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 117, pp. 177-207, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-117-177-207

Благодарность:

Исследование выполнено по плану НИР (ГЗ-№ 0439-2022-0015) лаборатории эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева (оценка экономического ущерба от эрозии почв и модификация метода), при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-17-00071, <https://rscf.ru/project/22-17-00071/> (детализация входных параметров эрозионных моделей, построение карт эрозионно-аккумулятивных структур почвенного покрова).

Acknowledgments:

The study was carried out under the R&D plan (ГЗ-No. 0439-2022-0015) of the Soil Erosion Laboratory of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (assessment of economic damage resulting from soil erosion and modification of the method), with financial support of the Russian Science Foundation, project No. 22-17-00071, <https://rscf.ru/project/22-17-00071/> (detailing of input parameters of erosion models, construction of maps of erosion-accumulative structures of soil cover).

Модификация методики определения размеров ущерба от деградации земель под воздействием эрозии почв

© 2023 г. А. П. Жидкин^{1*}, О. А. Макаров^{2**}, А. Р. Попова¹

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

* <https://orcid.org/0000-0003-3995-9203>, e-mail: gidkin@mail.ru.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1,
** e-mail: oa.makarov@mail.ru.

Поступила в редакцию 20.04.2023, после доработки 16.08.2023,
принята к публикации 10.10.2023

Резюме: Целью проведенных исследований явилась модернизация “Методики определения размеров ущерба от деградации почв и земель” (Роскомзем, Минприроды России, 1994) для расчета величины экономического ущерба от эрозии почв трех модельных участков, расположенных в различных агроэкологических условиях Русской равнины (Белгородская, Орловская, Тамбовская и Воронежская области). Были установлены среднесуточные темпы эрозии почв, различающиеся между собой в 10 и более раз на разных участках. Различие между указанными участками в площади средне- и сильноэродированных почв доходило до 40 раз. Сочетание более высоких темпов смыва почв, большей длительности протекания антропогенной эрозии, а также исходно относительно малой мощности гумусированной толщи обусловило значительно большую площадь средне- и сильноэродированных почв на участке в Орловской области по сравнению с участками в Белгородской, Тамбовской и Воронежской областях. Были выявлены некоторые недостатки указанной Методики 1994 г., основным из которых является “привязка” суммарного ущерба ко всему агрикультурному периоду. В данной работе Методика 1994 г. была модифицирована с целью расчета ущерба от деградации почв и земель за короткий (годовой) период времени. Сокращение оцениваемого периода в модифицированной методике позволило в определенной степени снизить субъективные составляющие, в частности, не использовать коэффициенты пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв (K_c) и в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв (K_v). Расчет годового ущерба позволил значительно более точно оценить годовой доход с учетом конкретных культур и их урожайности в год исследования. Кроме того, использование годовых оценок имеет высокую практическую значимость, так как позволяет отнести оцененный ущерб адресно к конкретному действующему землепользователю. Ущерб от эрозии почв, рассчитанный по модифицированной методике, составил 11–18 тыс. руб./га в год на участке в Орловской области, 5–6 тыс. руб./га в год на участке в Белгородской области и лишь 0.025 тыс. руб./га в год на участке на границе Тамбовской и Воронежской областей.

Ключевые слова: экономический ущерб, агрикультурный период, WaTEM/SEDEM, Русская равнина.

Modification of the methodology for determining the amount of damage from land degradation caused by soil erosion

© 2023 A.P. Zhidkin^{1*}, O. A. Makarov^{2**}, A. R. Popova¹

¹*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0003-3995-9203>, e-mail: gidkin@mail.ru.

²*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
**e-mail: oa_makarov@mail.ru.*

Received 20.04.2023, Revised 16.08.2023, Accepted 10.10.2023

Abstract: The purpose of the research was to modernize the “Methodology for determining the extent of damage from soil and land degradation” (Roskomzem, Ministry of Natural Resources of Russia, 1994). The modified methodology was used to calculate the economic damage from soil erosion in three key sites located in different agroecological conditions of the Russian Plain (Belgorod, Oryol, Tambov and Voronezh regions). The calculated average annual rates of soil erosion vary by 10 or more times in the sites. The difference between the area of moderately and strongly eroded soils reached 40 times in these sites. The combination of higher rates of soil erosion, a longer duration of anthropogenic erosion, and the initially relatively small thickness of the humus horizons led to a significantly larger area of moderately and strongly eroded soils in the Oryol region compared to the sites in the Belgorod, Tambov, and Voronezh regions. Studies have revealed some shortcomings of the 1994 Methodology. In this work, the 1994 Methodology was modified to calculate damage from soil and land degradation over a short (annual) period of time. Reducing the estimated period in the modified methodology to a certain extent made it possible to reduce subjective components, in particular, not to use conversion factors depending on changes in the degree of soil degradation (Kc) and depending on the time period for restoration of degraded soils (Kv). Calculation of annual damage made it possible to estimate the annual profit and income much more accurately, taking into account the composition of crops and their yield in the year of the study. In addition, the use of annual estimates has high practical significance, since this approach allows us to associate damage with the actions of a specific land user. The damage from soil erosion, calculated according to the modified method, amounted to 11–18 thousand rubles/ha per year on the site

in the Oryol region, 5–6 thousand rubles/ha per year on the site in the Belgorod region and only 0.025 thousand rubles/ha per year on the site on the border of the Tambov and Voronezh regions.

Keywords: economic damage, agricultural period, WaTEM/SEDEM, Russian Plain.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, деградация почв и земель – острейшая проблема сельского хозяйства во всем мире ([Цветнов и др., 2021](#)). Одним из наиболее деструктивных процессов деградации почвенного покрова в глобальном масштабе является эрозия почв. Деградация земельных ресурсов влияет как на экологическое состояние окружающей среды, так и на экономические показатели. В Российской Федерации на законодательном уровне (Федеральный закон об “Об охране окружающей среды” от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ) предусмотрена обязанность полного возмещения ущерба/вреда, нанесенного окружающей среде.

Под экономическим ущербом понимается оценка в денежной форме потери почвенного плодородия, потери урожая (возможных и фактических), загрязнения почв и др. в результате хозяйственной деятельности человека, а также затраты на ликвидацию негативных последствий и стабилизации окружающей среды ([Сухомлинова и др., 2015](#)).

Работ по оценкам экономического ущерба от эрозии почв мало по сравнению с количеством публикаций по деградации почв вообще и фундаментальным исследованиям проблем эрозиоведения, в частности. Одной из первых попыток оценки экономического ущерба от эрозии почв стала работа В.В. Звонкова ([1962](#)), в которой рассматривалась методика определения экономических ущербов от эрозии почв в различных отраслях народного хозяйства. При определении суммарного экономического ущерба от эрозии почв в данном подходе предлагалось рассчитывать сумму ущербов от эрозии почв в сельском хозяйстве, в системе транспорта, ущерб гидросооружениям (водохранилищам, прудам, водотокам, водосборным коллекторам), ущерб рыбному хозяйству и ущерб от эрозии почв прочим отраслям народного хозяйства. Ущерб от эрозии почв в сельском хозяйстве определяется как раз-

ница между возможным доходом сельскохозяйственных культур (в расчете, что эрозии нет) и фактическим доходом от сельскохозяйственных культур при наличии эрозии почв. Данный подход представляется логичным, однако он не был широко использован в связи со сложностью и субъективностью вычислений экономических ущербов для разных отраслей. В частности, представляется крайне затруднительным подбор эталонных земель с полным отсутствием эрозионно-аккумулятивных процессов для расчета ущерба от эрозии почв в сельском хозяйстве. При этом представляется спорной репрезентативность таких “эталонных” земель и корректность их сопоставления со склоновыми землями в принципиально иных условиях микроклимата, гидрологического режима почв и, как следствие, их урожайности.

Логичным продолжением работ В.В. Звонкова по изучению экономического ущерба от эрозии почв стали исследования коллектива Д.Е. Ванина, Ю.И. Майорова, В.М. Солошенко и Н.В. Медведева ([Ванин и др., 1987](#); [Майоров, Медведев, 1986](#); [Майоров, Солошенко, 1989, 1991](#)). В данных исследованиях предложено выделить две формы экономического ущерба при расчете ущерба от эрозии почв, а именно, компенсируемую форму, выражаемую в потере потребительской стоимости, которая, в свою очередь, исходя из экономических позиций, должна быть оценена по восстановительной стоимости, и некомпенсируемую, представляющую собой ежегодную потерю прибыли и стоимости валовой продукции. При этом первая форма ущерба является причиной, а вторая следствием. Расчеты некомпенсированного ущерба, представляющие собой потери чистого дохода (прибыли) за счет недобора продукции с эродированных земель и дополнительных затрат, связанных со снижением производительности сельскохозяйственной техники и с текущим ремонтом разрушенных эрозией материальных ценностей, имели практическое значение. В рамках проведенных исследований была предпринята попытка дать всестороннюю количественную оценку экономических последствий эрозии почв сельскому хозяйству Центрально-Черноземного экономического района. По подсчетам авторов, экономический ущерб в виде потери прибыли составил 144.4 млн рублей ([Майоров и др., 1989](#)). В результате были разработаны пособия с методическими

рекомендациями ([Эколого-экономическая оценка..., 1984](#); [Рекомендации по использованию..., 1985](#)). К сожалению, данные разработки редко упоминаются в работах последних десятилетий.

В настоящее время наиболее широко используются следующие основные группы подходов к оценке ущерба/вреда, нанесенного почвам и землям. *Первая группа подходов* основана на экономической оценке ущерба от деградации почв и земель на основе площади деградированных/загрязненных почв и степени их деградации/загрязнения путем сопоставления свойств изучаемых и эталонных почв. Оценка дается по пятибалльной шкале. Из последних методик, созданных на основе данного подхода, следует отметить: [“Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами”](#) (Утвержден приказом 18.11.1993 Минприроды России), [“Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель”](#) (Утверждена приказом Роскомзема и Минприроды России от 17 июля 1994 г.). В [“Методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель” \(1994\)](#) указаны показатели деградации земель, которые напрямую показывают наличие эрозионного процесса в почвах – уменьшение запасов гумуса в профиле почвы (% от исходного) и увеличение площади средне- и сильноэродированных почв (% в год).

Существует обновленная версия оценки ущерба/вреда, нанесенного почвам и землям, – [“Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды”](#) (утверждена Минприроды России 8 июля 2010). Однако методика 2010 г. не позволяет учитывать ущерб конкретно от эрозии почв.

Применение Методики 1994 г., как правило, опирается на агрохимические показатели, учитывающие агроистощение почв. Работы по применению Методики 1994 г. для оценки ущерба от эрозии почв единичные. Так, например, в Самарской области рассматривалась оценка ущерба на трех масштабных уровнях: региона, муниципального района и агрохозяйства. Исследование проводилось согласно Методике 1994 г. путем оценки степени деградации почв по пятибалльной шкале, на основе сопоставления агрохимических показателей исследуемых почв и их недеградированных аналогов (эталонных почв). В качестве эталонной почвы были взяты соответствующие типам модели почв высокого плодородия,

преобладающим на исследованной территории. В качестве показателей деградации земель использованы данные по содержанию подвижного фосфора, обменного калия и гумуса. В масштабе муниципального района и агрохозяйства использовали дополнительный показатель изменения кислотности почв для оценки деградации земель. Результатом работы стали данные по расчету общего ущерба от деградации почв и земель для Самарской области в целом (по состоянию территорий на 2020 г.), который составил 167.6 млрд руб., или 28 482 руб./га. На муниципальном уровне для Похвистневского муниципального района величина суммарного ущерба от деградации составляла 5 083 573.8 тыс. руб., или 22 000 руб./га, что значительно ниже величины удельного ущерба по области. На уровне агрохозяйства величина суммарного ущерба от деградации почв и земель Агро-Инновационного центра “Орловка” составила 107.72 млн руб., или 21 618 руб./га удельного ущерба ([Беляева и др., 2022](#)).

Также в качестве примера приведем работу по сравнению оценки ущерба от деградации почв и земель различных муниципальных образований РФ – Калачевского муниципального района Волгоградской области, Волоконовского муниципального района Белгородской области, Озерского муниципального района Калининградской области, Кузнецкого муниципального района Пензенской области ([Макаров и др., 2022](#)). Здесь эталонные значения показателей свойств почв были взяты из научных и методических работ. Следует отметить значительный разброс величин удельного ущерба от деградации почв и земель в исследуемых районах. При этом самые высокие значения установлены для черноземных почв Волоконовского (общий 23 939.9 млн руб., удельный в расчете на 1 га – 319.3 тыс. руб.) и Кузнецкого (35.3 млрд руб., в расчете на единицу площади – 124.2 тыс. руб./га) муниципальных районов. Невысокий уровень агротехнических мероприятий, в первую очередь, недостаточное внесение органических и минеральных удобрений, известкование кислых почв (например, в Озерском районе, где общий ущерб – 4 601.8 млн руб.; удельный – 68.5 тыс. руб./га.) и гипсование солонцеватых почв (в Калачевском районе, где общий ущерб 8 135.4 млн руб., удельный – 19 255 руб./га) является главной причиной столь значительного ущерба.

Вторая группа подходов к оценке ущерба основана на концепции экономики деградации земель. В частности, в основе методики Й. фон Брауна и соавторов (2013) лежит сравнение экономических показателей сельскохозяйственного производства в условиях устойчивого управления земельными ресурсами, а также при “традиционном” землепользовании (Макаров и др., 2017). Процедура анализа представляет собой экономическую оценку текущего уровня землепользования на исследуемом участке относительно другого, более совершенного и технологически оправданного вида землепользования, на который землевладелец имеет возможность перейти в ближайшем будущем. Исследования с использованием данного подхода проводились, например, в Московской (Макаров и др., 2017) и Пензенской (Строков и др., 2022) областях. Основной трудностью применения данного подхода является точность прогноза комплексных оценок экосистемных услуг будущей системы землепользования относительно текущей системы (Цветнов и др., 2021). Кроме того, указанная выше методика не позволяет учитывать экономический ущерб конкретно от эрозии почв, возможен лишь учет стоимостных изменений широкого спектра экосистемных услуг.

Третья группа подходов к оценке ущерба основана на концепции “нейтрального баланса деградации земель” (“Land Degradation Neutrality”). Данный подход позволяет проследить динамику деградации земель по следующим индикаторам: наземному покрову, продуктивности земель и запасам почвенного органического углерода на ретроспективной основе (Лобковский и др., 2018). Состояние земель, при котором объем и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в определенных пространственных и временных масштабах и экосистемах, принято считать нейтральным балансом деградации земель (определение принято на 12-ой Конференции сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) в сентябре 2015 г.). На основе данной методики “нейтрального баланса деградации земель” опробован метод оценки деградации земель (Андреева, Куст, 2020). Данный метод подходит для сравнения состояния земель в

разных регионах, но с учетом конкретных природных и социально-экономических условий региона требуется совершенствование и адаптация данного метода. Рекомендуемые КБО ООН для вычисления доли деградированных земель три основных индикатора (динамика наземного покрова, динамика продуктивности земель и динамика запасов почвенного органического углерода) сильно различаются по федеральным округам и субъектам Федерации.

Работы с одновременным использованием разных методик единичные. В частности, комплексные оценки были проведены в агрохозяйствах в Волгоградской, Белгородской, Калининградской и Пензенской областях ([Макаров и др., 2022](#)). Использование разных подходов для контрастных ситуаций по степени деградации земель показало близкие результаты. Например, для агрохозяйств Белгородской области выявлены высокий удельный ущерб от деградации земель и убыточность проектов по восстановлению территории.

Цель данного исследования заключается в определении экономического ущерба от эрозии почв на трех модельных участках, расположенных в принципиально разных агроэкологических условиях, на основе действующей Методики Минприроды 1994 г.; в выявлении преимуществ и недостатков полученных результатов; в модификации данной методики с учетом выявленных недостатков.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования находятся на территории Русской равнины и представляют собой распахиваемые поля площадью около 10 тыс. га каждое. Участок “Шебекинский” расположен в северо-восточной части Шебекинского района Белгородской области; участок “Мценский” расположен в Мценском районе Орловской области; участок “Жердевский” расположен на границе Тамбовской области (в Жердевском, Эртильском, Токаревском и Ржаксинском районах) и Воронежской области (в Терновском районе).

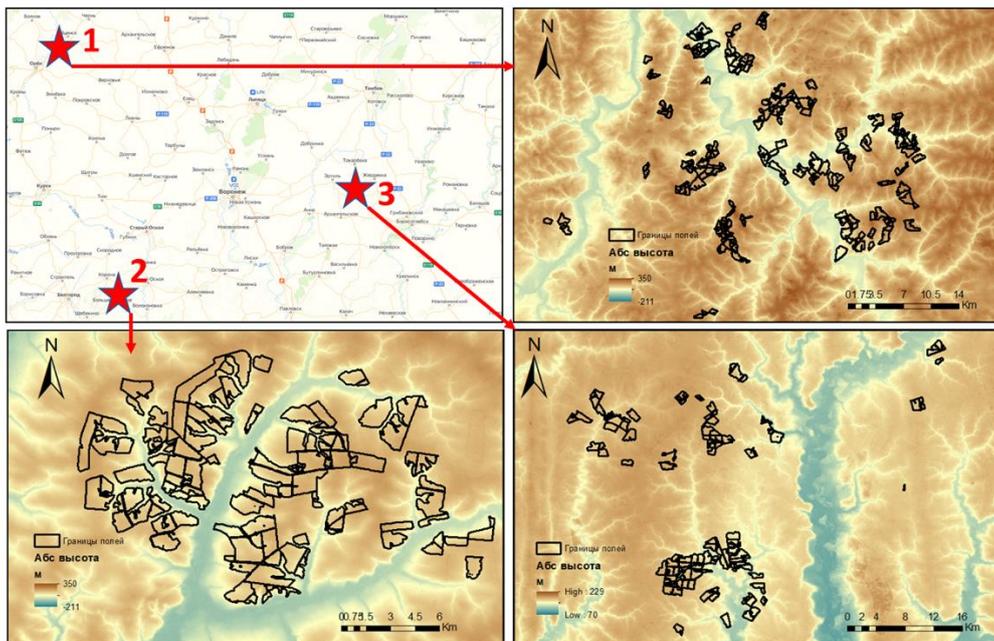


Рис. 1. Схема расположения участков исследования; расположение полей и рельеф участков “Мценский” (1), “Шебекинский” (2), “Жердевский” (3).

Fig. 1. The location of the study sites; fields layout and topography of the “Mtsenskiy” (1), “Shebekinskiy” (2), and “Zherdevskiy” (3) sites.

Рельеф исследованных участков существенно отличается. “Мценский” участок расположен в пределах хорошо дренированных междуречий р. Оки и двух ее притоков р. Зуши и р. Лисицы. Рельеф увалистый с преобладанием покатых (крутизной от 2° до 5°) выпуклых преимущественно рассеивающих склонов средней длины (600–800 м). Склоны данного типа в значительной степени подвержены эрозии, так как при увеличении расстояния от водораздела возрастает крутизна склона и расход потока, следовательно, увеличивается его скорость и эродирующая способность. “Шебекинский” участок характеризуется средней степенью расчлененности овражно-балочной сети. Преобладают выпуклые в продольном сечении склоны и прямые, слабовыпуклые в поперечном сечении склоны. Длина склонов достаточно высокая, в среднем более 500 м, иногда более 1 км. Крутизна склонов также достаточно высокая, с преобладанием уклонов 2–5°. Таким образом рельеф “Шебекинского” участка в целом тоже в значительной степени эрозионно опасен. “Жердевский” участок характеризуется преобладанием широких плоских междуречий, местами осложненных западинами. Крутизна распахиваемых придолинных склонов редко превышает 5°, а преобладающие уклоны составляют 0–3°. Максимальная длина линий стока относительно небольшая и редко превышает 500 м. Специфической региональной особенностью рельефа данной территории является развитая сеть мелких распахиваемых ложбин.

Климат “Мценского” участка характеризуется годовым количеством осадков 400–600 мм. Более половины годовой нормы выпадает с мая по август. Осадки носят преимущественно ливневый характер, в результате чего в летние месяцы возникает высокая вероятность ливневого смыва почв. На “Шебекинском” участке среднегодовое количество осадков составляет около 500–550 мм/год, максимум приходится на летний период. Характер выпадения осадков преимущественно ливневый. Устойчивый снежный покров формируется в начале декабря и продолжается до середины марта. Снежный покров в среднем имеет мощность 11.8 см. Безморозный период длится в среднем около 150 дней. На “Жердевском” участке среднегодовое количество осадков находится в пределах 480–660 мм. Наиболее низкие температуры ха-

рактерны для января и составляют в среднем -9.8°C . Снежный покров устанавливается после 23 октября и может сохраняться до поздней весны. Его характерная высота составляет порядка 25 см.

В структуре почвенного покрова “Мценского” участка преобладают: в северной и центральной частях светло-серые и серые лесные почвы, в южной части – серые и темно-серые лесные почв с черноземами оподзоленными и выщелоченными. Часть поймы р. Зуши распаивается, поэтому также на относительно небольших участках встречаются аллювиальные почвы. На “Шебекинском” участке почвенный покров дифференцирован несильно и представлен преимущественно черноземами типичными, выщелоченными и локально темно-серыми лесными почвами. На “Жердевском” участке господствуют черноземы типичные и выщелоченные, а также лугово-черноземные и черноземно-луговые почвы на плоских междуречьях.

Сельскохозяйственная освоенность всех участков достаточно высокая (рис. 1). На исследованных полях в составе севооборотов преобладают следующие культуры: яровая и озимая пшеница, сахарная свекла, соя и подсолнечник. Преобладание в севообороте пропашных культур способствует высокой эрозионной деградации почв.

Для определения ущерба/вреда, нанесенного почвам и землям, используется “Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель” (Утверждена приказом Роскомзема и Минприроды России от 17 июля 1994 г.).

Расчеты проводились по формуле (1):

$$\text{Ущ} = \text{Нс} \times \text{S} \times \text{Кэ} \times \text{Кс} \times \text{Кп} + \text{Дх} \times \text{S} \times \text{Кв}, \quad (1)$$

где **Ущ** – размер ущерба от деградации почв и земель, тыс. руб.; **Нс** – нормативная стоимость участка, тыс. руб./га; **Дх** – годовой доход с единицы площади, тыс. руб.; **S** – площадь деградированных почв и земель, га; **Кэ** – коэффициент экологической ситуации территории; **Кв** – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель; **Кс** – коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель; **Кп** – коэффициент для особо охраняе-

мых территорий.

Нормативная стоимость (**Нс**) для “Мценского” участка была приравнена к кадастровой стоимости земельных участков сегмента рынка “сельскохозяйственное использование” согласно Постановлению № 124 правительства Орловской области от 10 марта 2021 г. и составила 51.5 тыс. руб./га; для “Шебекинского” участка нормативная стоимость была взята из Постановления Правительства Белгородской области от 08.11.2021 № 517-пп “Об утверждении среднего уровня кадастровой стоимости земельных участков в составе земель населенных пунктов по муниципальным районам (городским округам) Белгородской области в разрезе сегментов объектов недвижимости” и составила 129.9 тыс. руб./га. Для “Жердевского” участка нормативная стоимость участка была принята равной кадастровой стоимости из Приказа N 532 Комитета по управлению имуществом Тамбовской области от 14 сентября 2020 г. и составила 42 тыс. руб./га.

Для корректировки стоимости земель применяется использование поправочных коэффициентов к стоимости земельных участков, а также разработка специальных методов оценки загрязненных, деградационных и захламленных земель. Поправочные коэффициенты являются табличными величинами и определяются в зависимости от рассчитанной степени деградации, которая изменяется в зависимости от выбранного показателя. Значение коэффициента пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель (**Кв**) было принято максимальным – равным 10, поскольку эродированные почвы восстанавливаются очень медленно, в течение столетий – тысячелетий. Коэффициент (**Кп**) для особо охраняемых территорий был приравнен 1 (т. е. не учитывался) в связи с тем, что земли не попадают в категории “земли природно-заповедного фонда”, “земли природоохранного, оздоровительного и охранно-культурного назначения” или “земли рекреационного назначения”. Коэффициент экологической ситуации (**Кэ**) территории был принят равным 2 в соответствии с регионом (все три участка расположены в Центрально-Черноземном экономическом районе РФ).

Площадь деградированных от эрозии почв и земель (**S**) оценивалась на основе данных полевого обследования почвенного

покрова и эрозионных моделей. На участке “Мценский” было проанализировано 556 точек обследования, на участке “Шебекинский” – 362 точки, на участке “Жердевский” – 400 точек. В каждой точке была диагностирована та или иная степень эродированности почв. Темпы эрозионно-аккумулятивных процессов были рассчитаны отдельно для талого смыва по модели ГГИ в модификации Г.А. Ларионова ([Ларионов и др., 2017](#)) и ливневого смыва по модели WaTEM/SEDEM ([Van Oost et al., 2000, 2009](#); [Van Rompay et al., 2001](#)). Для расчетов были использованы входные параметры достаточно высокой детальности. Цифровые модели были созданы на основе съемок рельефа БПЛА и оцифрованных топокарт высокой детальности. Эродируемость почв была оценена на основе данных аналитических измерений содержания органического вещества и гранулометрического состава пахотных горизонтов почв в 624 точках опробования (приблизительно по 200 точек на каждом участке). При помощи авторской методики, описанной в работе ([Жидкин и др., 2021](#)), были построены карты эрозионно-аккумулятивных структур почвенного покрова. Площадь деградированных от эрозии почв и земель была рассчитана для каждого поля в отдельности по площади ассоциаций средне- и сильноэродированных почв с карт эрозионно-аккумулятивных структур почвенного покрова.

Коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель (**Кс**) также рассчитывался для каждого поля в отдельности на основе темпов увеличения площади средне- и сильноэродированных почв согласно Методике 1994 г. (табл. 1). В свою очередь, темп увеличения площади средне- и сильноэродированных почв был рассчитан как текущая площадь средне- и сильноэродированных почв по каждому полю, отнесенная к количеству лет (деленная на количество лет) распахки.

Годовой доход (**Дх**) с единицы площади, руб./га, был рассчитан для каждого поля с учетом с/х культуры, урожайности поля и стоимости урожая в 2021 г. по формуле (2):

$$Дх = У \times Ст , \quad (2)$$

где **У** – урожайность с поля, ц/га; **Ст** – стоимость с/х продукции, руб./ц.

Таблица 1. Коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель

Table 1. Conversion factor based on changes in soil and land degradation

Показатель	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
Увеличение площади средне- и сильноэродированных почв, % в год	<0.5	0.6–1	1.1–2	2.1–5	>5
Kс	0	0.2	0.5	0.8	1.0

Данные о культурах, урожайности и цене с/х продукции были предоставлены производителями сельскохозяйственной продукции.

Для вычислений из ГИС были экспортированы данные о составе культур, площади средне- и сильноэродированных почв для каждого поля в отдельности. Вычисление проводилось в программе Excel. Пример расчетной таблицы представлен в таблице 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Темпы эрозии и степень деградации почв. Средние многолетние темпы водной эрозии почв, оцененные по эрозионным моделям, составили: на “Мценском” участке – 10.4 т/га в год, на “Шебекинском” – 8.2 т/га в год, на “Жердевском” – 0.8 т/га в год. При этом участки принципиально отличаются пространственной структурой протекания эрозионно-аккумулятивных процессов. На “Мценском” и “Шебекинском” участках ярко выражена “дендровидная” структура с высокими темпами эрозии почв на склонах балок и речных долин. Аккумуляция наносов в пределах агроландшафтов, как правило, приурочена к днищам распахиваемых ложбин. На “Жердевском” участке очаги эрозии образуют локальные небольшие по площади ареалы, приуроченные к ложбинам и нижним, наиболее крутым, частям склонов (рис. 2).

Таблица 2. Пример расчета суммарного ущерба от эрозии почв по отдельным полям “Мценского” участка
Table 2. Example of calculating total soil erosion damage for individual fields in the Mtsensk site

ИД поля	Нс, тыс. руб./га	S, га	Кэ	Кс	Кп	Кв	Культура	Дх, тыс. руб/га	Ущерб, тыс. руб
OR-01-01-02-0001	51.5	13.2	2	0.0	1	10	Соя	90	11 852
OR-01-01-03-0001	51.5	2.1	2	0.0	1	10	Пшеница яровая	36	742
OR-01-01-05-0001	51.5	22.4	2	0.0	1	10	Пшеница яровая	53	11 804
OR-01-01-22-0001	51.5	117.2	2	0.0	1	10	Сахарная свекла	9	10 635
OR-01-01-41-0002	51.5	35.0	2	0.0	1	10	Сахарная свекла	105	36 706
OR-01-02-46-0001	51.5	36.0	2	0.2	1	10	Пшеница яровая	166	60 321
OR-01-03-29-0001	51.5	28.4	2	0.2	1	10	Пшеница озимая	34	10 072
OR-01-03-54-0001	51.5	10.4	2	0.0	1	10	Соя	106	11 074
OR-01-03-54-0001	51.5	2.3	2	0.0	1	10	Соя	106	2 423
OR-01-03-73-0001	51.5	42.1	2	0.0	1	10	Пшеница озимая	63	26 414
...
Итого									2 506 323

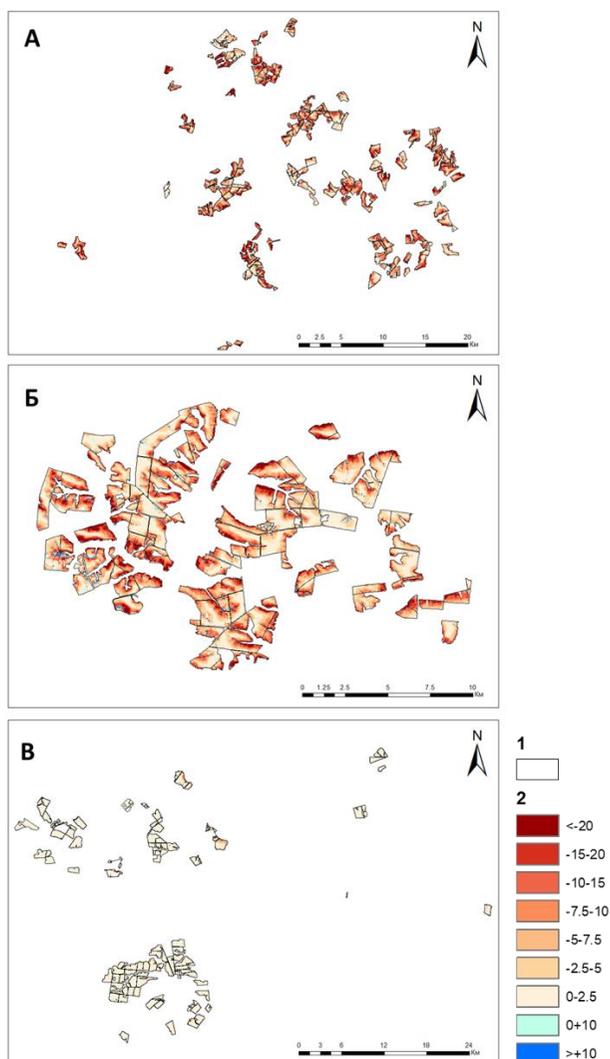


Рис. 2. Темпы эрозионно-аккумулятивных процессов на участках “Мценский” (А), “Шебекинский” (Б), “Жердевский” (В). В легенде: 1 – границы полей, 2 – темпы эрозии (-) и аккумуляции (+), т/га в год.

Fig. 2. Rates of erosion and accumulation processes on the sites “Mtsenskiy” (A), “Shebekinskiy” (B), “Zherdevskiy” (C). Legend: 1 – field boundaries, 2 – erosion (-) and accumulation (+) rates, tonnes/ha per year.

На “Мценском” участке высокие темпы эрозии почв обусловлены сочетанием эрозионно-опасного рельефа и высокой эродуруемостью (смываемостью) почв. На “Мценском” участке среднее значение эродуруемости почв достаточно высокое и составляет в среднем $54 \text{ кг} \cdot \text{ч} \cdot \text{МДж}^{-1} \cdot \text{мм}^{-1}$. Данное значение в полтора-два раза выше, чем на “Шебекинском” и “Жердевском” участках, где значения К-фактора в среднем равны около $35 \text{ кг} \cdot \text{ч} \cdot \text{МДж}^{-1} \cdot \text{мм}^{-1}$. При этом важно отметить, что на “Мценском” участке отмечается очень сильное варьирование К-фактора от 24 до $82 \text{ кг} \cdot \text{ч} \cdot \text{МДж}^{-1} \cdot \text{мм}^{-1}$ за счет высокой степени неоднородности почвенного покрова. Кроме того, на “Мценском” участке, расположенном на границе лесной и северной лесостепной зон, помимо ливневого смыва, некоторый вклад в эрозию почв имел также талый смыв почв при весенних снеготаяниях. Расчетная по моделям доля талого смыва на “Мценском” участке составила около 15%.

На “Шебекинском” участке эрозионный потенциал рельефа также в значительной степени высокий, однако почвы в значительно меньшей степени подвержены смыву за счет высокого содержания органического вещества и хорошей водопроницаемой и водоустойчивой структуры черноземов. На “Жердевском” участке все факторы эрозии почв низкие, смыв очень сильно локализован на небольших по площади участках.

Площадь средне- и сильноэродированных почв различается на разных участках намного сильнее, чем среднемноголетние темпы эрозии почв. Так, на “Мценском” участке площадь средне- и сильноэродированных почв оказалась очень велика и составила 3 950 га, то есть около 39.5% от площади обследованной пашни. На “Шебекинском” участке данная площадь составила около 1 200 га или 11.9% от площади обследованной пашни. На “Жердевском” участке данная площадь очень низкая – лишь около 8 га или 0.9% от площади обследованной пашни. Таким образом, пространственная вариабельность величины площади средне- и сильноэродированных почв значительно выше, чем пространственная вариабельность осредненных по участкам темпов эрозии почв. В предыдущих исследованиях авторов ([Zhidkin, 2021](#)) на основе анализа всей пашни Прохоровского района Белгородской области отмечалось, что варьирование степени деградации почвенного по-

кровя может быть значительно выше, чем варьирование в средне-многолетних темпах эрозии почв. Столь сильное различие в степени эрозионной деградации почвенного покрова на разных участках обусловлено совокупностью следующих причин.

Разная степень деградации почв обусловлена разной интенсивностью воздействия эрозионных процессов. Помимо различий в темпах эрозии почв, о которых было сказано ранее, большое значение имеет продолжительность распашки и, как следствие, длительность эрозии почв. Орловская область в целом распаивается существенно дольше, чем Белгородская, Тамбовская и Воронежская ([Пространственно-временные..., 2019](#)). Однако локально могут встречаться участки длительного освоения и в указанных областях. Для подтверждения данного предположения требуется детальный анализ исторических карт конкретно по данным территориям. Тем не менее, сочетание более высоких темпов смыва и, вероятно, более длительной распашки на “Мценском” участке свидетельствует о значительно большей антропогенной нагрузке на данную территорию по сравнению с остальными участками.

Кроме того, разная степень деградации почв на разных участках обусловлена разной исходной мощностью гумусированной толщи. Существующая классификация диагностики степени эродированности почв опирается на учет остаточной мощности почвы относительно эталона. При этом эталонная мощность зональных типов почв отличается существенно. К примеру, эталонная мощность гумусовых горизонтов серых лесных почв на “Мценском” участке составляет около 40–45 см, а эталонная мощность гумусовых горизонтов черноземов на “Жердевском” участке составляет около 90–110 см. Согласно инструкции ([Общесоюзная инструкция..., 1973](#)), серые лесные почвы и черноземы считаются среднеэродированными при условии, что гумусированная толща смыта более чем наполовину. Таким образом, при одинаковой длительности распашки (к примеру, 200 лет) серая лесная почва на “Мценском” участке достигнет средней степени эродированности при смыве 20–22.5 см, то есть при темпе смыва 12–13 т/га в год (1.0–1.1 мм/год). В свою очередь, чернозем на “Жердевском” участке достигнет состояния средней степени эродированности при смыве 45–55 см или 27–33 т/га в год (2.3–2.8 мм/год). Иначе

говоря, чернозем на “Жердевском” участке достигнет средне-эродированной степени деградации в случае более интенсивного (в 2.5–3 раза), либо более продолжительного эрозионного воздействия, чем серая лесная почва на “Мценском” участке.

Таким образом, сочетание более высоких темпов эрозии почв, большей длительности протекания антропогенной эрозии, а также исходно относительно малой мощности гумусированной тощи обусловили значительно (в 4–40 раз) большую площадь средне- и сильноэродированных почв на “Мценском” участке, по сравнению с “Шебекинским” и “Жердевским” участками.

Оценка экономического ущерба от эрозии почв на основе Методики 1994 г. Суммарная оценка экономического ущерба, рассчитанная по Методике 1994 г., по разным культурам в период 2017–2021 гг. на “Мценском” участке составила в общей сложности около 2.4–2.7 млрд руб.; на “Шебекинском” участке – около 900 млн – 1 млрд руб.; на “Жердевском” участке – лишь около 5 млн руб. Размер удельного ущерба в пересчете на 1 га составил на “Мценском” участке 240 тыс. руб./га, на “Шебекинском” участке – 90 тыс. руб./га, на “Жердевском” участке – 0.5 тыс. руб./га.

Различия в степени эрозионной деградации почв между “Мценским” и “Шебекинским” были существенно снижены в оценке экономического ущерба в связи с учетом нормативной стоимости участков, которая на “Мценском” участке составила 42 тыс. руб./га, а на “Шебекинском” участке – 129 тыс. руб./га. Применение нормативной стоимости при расчете экономического ущерба от эрозии почв вносит неопределенность в расчеты, так как данный показатель в настоящее время не является объективным и общедоступным.

Сравнивая показатели размера удельного ущерба из работ других авторов, можно обратить внимание на максимальные показатели размера удельного ущерба в Волоконовском муниципальном районе Белгородской области – 319.3 тыс. руб./га площади ([Макаров и др., 2022](#)), что больше значения на “Мценском” участке – 240 тыс. руб./га. Минимальный удельный ущерб “Жердевского” участка (0.5 тыс. руб./га) является самым низким показателем

из всех проанализированных литературных данных.

В ходе расчетов были выявлены следующие недостатки Методики 1994 г.:

1) учет суммарного ущерба проводится за весь агрикультурный период, что затрудняет применение Методики в практических целях (не понятно, кто должен нести в этом случае ответственность за многовековой ущерб);

2) отмечается несоответствие левой и правой частей расчетной формулы (1) по времени оценки: левая часть формулы ($H_c \times S \times K_\varepsilon \times K_c \times K_p$) учитывает ущерб, нанесенный стоимости земельного участка за счет ухудшения качества земель, то есть за весь агрикультурный период; правая часть формулы ($D_x \times S \times K_v$) рассчитывает недополученный годовой доход из-за снижения урожайности на деградированных землях (с нашей точки зрения, правая часть должна каким-то образом учитывать длительность всего сельскохозяйственного периода);

3) существует сложность использования величины H_c – сначала, как это требует Методика 1994 г., специалисты применяли нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд (по состоянию на 1 ноября 1992 г.), затем – нормативную цену (потребительную стоимость) земель (Макаров, Каманина, 2008), или (в случае отсутствия нормативной цены) – кадастровую стоимость земель; то есть, в различные периоды времени эта величина имела различные значения;

4) выявляется завышенность пороговых значений определения степени деградации земель (K_c) для показателей эродированности почв: например, темпы прироста средне- и сильноэродированных почв, равные 1% в год, являются катастрофическими, а в Методике они отнесены лишь к 1-ой (т. е. к низкой) степени деградации;

5) является спорным обоснование значений коэффициентов пересчета (K_v) в зависимости от периода времени по восстановлению почв и земель (неоднозначно применение данного коэффициента в правой части формулы (1), скорее, он должен относиться к левой части формулы, где учитывается ущерб, нанесенный стоимости земельного участка из-за ухудшения качества земель).

Оценка экономического ущерба от эрозии почв на основе модифицированной Методики 1994 г. Указанные в предыдущем разделе недостатки Методики 1994 г. натолкнули авторов на модификацию данного подхода, направленную на расчет ущерба от деградации почв и земель за короткий период времени. Для оценки влияния эрозии рекомендуется использовать годовой цикл оценки ущерба.

Модифицированная формула расчета (3) выглядит следующим образом:

$$\text{Ущ} = \text{С} \times \text{S}_{\text{год}} \times \text{Кэ} \times \text{Кп} + \text{Дх} \times \text{S} \times \text{Кур}, \quad (3)$$

где **Ущ** – размер ущерба от деградации почв и земель, тыс. руб.; **С** – стоимость участка, тыс. руб./га; **S_{год}** – среднегодовое увеличение площади деградированных земель, га/год; **Кэ** – коэффициент экологической ситуации территории (аналогично Методике 1994 г.); **Кп** – коэффициент для особо охраняемых территорий; **Дх** – годовой доход с единицы площади, тыс. руб./год; **S** – площадь деградированных почв и земель, га; **Кур** – коэффициент снижения урожайности на эродированных землях.

S_{год} может быть оценено на основе мониторинговых наблюдений, например, при наличии нескольких туров обследования земель; а также, в случае деградации земель от эрозии почв, возможно применение модельных прогнозов деградации земель. В случае отсутствия данной информации возможно применение ретроспективного подхода, при котором общая площадь деградированных земель делится на длительность периода деградации, в случае эрозии почв – на агрикультурный период.

В случае расчета годового ущерба коэффициенты **Кв** (коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель) и **Кс** (коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель) могут быть исключены из уравнения.

Кур (коэффициент снижения урожайности земель на эродированных землях) является слабо изученным. Согласно исследованиям ВНИИЗ и ЗПЭ ([Санжарова и др., 2009](#)), урожайность на среднесмытых черноземах снижается на 40–60%, а на сильносмы-

тых черноземах – 60–80%. То есть, для черноземов данный коэффициент можно принять равным 0.5 для среднесмытых и 0.7 для сильносмытых почв. В других регионах данный коэффициент требует уточнения.

Применение данного модифицированного уравнения, на наш взгляд, позволяет устранить большинство методических недостатков Методики 1994 г. В частности, расчет годового ущерба позволяет значительно более точно оценивать годовой доход с учетом конкретной культуры и урожайности этого года, избежать применения коэффициентов K_v и K_c . Кроме того, расчет годовых показателей позволяет отнести данный ущерб адресно к конкретному действующему землепользователю.

Сумма оцененного за 2021 г. ущерба по предложенной модифицированной формуле расчета на “Мценском” участке составила 126.9 млн руб./год при $K_{ур} = 0.5$ и 177.0 млн руб./год при $K_{ур} = 0.7$. В пересчете на 1 га удельный ущерб на “Мценском” участке составил 11–18 тыс. руб./га в год. На “Шебекинском” участке суммарный ущерб составил 46.8 млн руб./год при $K_{ур} = 0.5$ и 64.9 млн руб./год при $K_{ур} = 0.7$; удельный ущерб составил около 5–6 тыс. руб./га в год. На “Жердевском” участке суммарный ущерб составил лишь 0.25 млн руб./год при $K_{ур} = 0.5$; удельный ущерб составил лишь 0.025 тыс. руб./га в год.

Таким образом, можно сделать вывод, что на “Жердевском” участке эрозия почв практически не наносит ущерба, и в ближайшей среднесрочной перспективе вряд ли эта ситуация изменится, согласно прогнозным оценкам рисков деградации земель от эрозии почв.

Однако на “Мценском” и “Шебекинском” участках ущерб достаточно существенный. Важно отметить, доля эродированных почв увеличивается с течением времени, поэтому ущерб от эрозии имеет кумулятивный эффект, т. е. с каждым годом становится все более высоким. Кроме того, динамика прироста эродированных почв не линейна во времени. В настоящее время доля эродированных почв увеличивается намного большими темпами, чем в XIX и начале XX вв. ([Zhidkin, 2021](#)), даже при условии сохранения среднесреднегодных темпов эрозионно-аккумулятивных процессов. В связи с этим важно учитывать, что при отсутствии проведения

почвозащитных мероприятий и частичного вывода из пашни (залужения) средне- и сильноосмытых почв ущерб от эрозии в среднесрочной перспективе будет только возрастать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время существует острый дефицит подходов к определению экономического ущерба от эрозии почв. Существующие подходы крайне малочисленны и достаточно субъективны. “Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель” от 17 июля 1994 г. по сути является единственным регламентированным подходом к количественной оценке ущерба деградации почв и земель от эрозии. Применение Методики 1994 г. на исследованных участках выявило ее определенные недостатки, основной из которых заключается в том, что данный подход направлен на подсчет суммарного ущерба за весь агрикультурный период. Также к недостаткам Методики 1994 г. можно отнести использование нормативной стоимости земель, величина которой существенно менялась за агрикультурный период. Кроме того, были выявлены завышенные пороговые значения определения степени деградации почв, что, вероятно, приводит к занижению ущерба при использовании Методики 1994 г.

Проведенные в различных агроэкологических условиях оценки выявили существенно разные среднесулетние темпы эрозии почв, различающиеся в 10 раз на разных участках. Степень деградации почвенного покрова, выраженная в площади средне- и сильноэродированных почв, различается в 4–40 раз между различными участками. Сочетание более высоких темпов смыва почв, большей длительности протекания антропогенной эрозии, а также исходно относительно малой мощности гумусированной толщи обусловили значительно большую площадь средне- и сильноэродированных почв на участке в Орловской области, по сравнению с участками в Белгородской, Тамбовской и Воронежской областях.

Модификация Методики 1994 г., представленная в данной работе, направлена на расчет ущерба от деградации почв и земель за короткий период времени (год или несколько лет). Применение модифицированной методики на исследованных участках позволило в определенной степени снизить субъективные составляющие

щие при оценке стоимости земельного участка, расчете годового дохода за конкретный период времени, а также избежать применения сомнительного коэффициента по восстановлению деградированных почв и земель в зависимости от периода времени. Ущерб от эрозии почв, рассчитанный по модифицированной методике, составил 11–18 тыс. руб./га в год на участке в Орловской области, 5–6 тыс. руб./га в год на участке в Белгородской области и лишь 0.025 тыс. руб./га в год на участке на границе Тамбовской и Воронежской областей.

Существенное варьирование экономического ущерба на разных участках, свидетельствует о высокой информативности подобного рода оценок. Дальнейшая разработка и апробация в новых условиях данных подходов может иметь высокую практическую значимость для воздействия на сельхозтоваропроизводителей и органы государственной власти в вопросах практического внедрения противоэрозионных мероприятий в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева О.В., Куст Г.С.* Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // Известия РАН. Серия Географическая. 2020. Т. 84. № 5. С. 737–749.
2. *Беляева М.В., Макаров О.А., Абдулханова Д.Р.* Оценка ущерба от деградации почв и земель Самарской области на уровне региона, муниципального района и агрохозяйства // Земледелие. 2022. № 8. С. 3–7.
3. *Ванин Д.Е., Майоров Ю.И., Солошенко В.М.* Экономические основы оценки эффективности почвозащитных мер. М.: Агропромиздат, 1987. 152 с.
4. *Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Олсон К.Р.* и др. Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2011. № 7. С. 861–869.
5. *Жидкин А.П., Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Заздравных Е.А., Лозбнев Н.И.* Цифровое моделирование строения и степени эродированности почвенного покрова (Прохоровский район Белгородской области) // Почвоведение. 2021. № 1. С. 17–30.
6. *Звонков В.В.* Водная и ветровая эрозия земли: АН СССР, 1962. С. 134–141.

7. Ларионов Г.А., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П. Эмпирическая (статистическая) модель эрозии почв // ИНФРА-М г. Москва, 2017. С. 154–173.
8. Лобковский В.А., Куст Г.С., Андреева О.В. Нейтральный баланс деградации земель: возможности интеграции глобальных и национальных индикаторов // Экология урбанизированных территорий, 2018. № 3. С. 45–53.
9. Майоров Ю.И., Медведев Н.В. Расчет ущерба от эрозии почв // Земледелие, 1986. № 3. С. 51–54.
10. Майоров Ю.И., Солошенко В.М. Потери от водной эрозии почв // Земледелие, 1989. № 6. С. 31–33.
11. Майоров Ю.И., Солошенко В.М. Потери от водной эрозии почв в сельском хозяйстве и пути их снижения (экономический аспект). Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. 200 с.
12. Макаров О.А., Каманина И.З. Эколого-экономическая оценка и сертификация почв и земель. М. МАКС Пресс, 2008. 240 с.
13. Макаров О.А., Марахова Н.А., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Чекин М.Р., Абдулханова Д.Р. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель муниципальных образований Российской Федерации // Земледелие. 2022. № 4. С. 3–7.
14. Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Бондаренко Е.В., Кубарев Е.Н., Чистова О.А., Ермияев Я.Р. Аprobация методики эколого-экономической оценки деградации земель // Агрохимический вестник. 2017. № 3. С. 55–59.
15. Макаров О.А., Строков А.С., Цветнов Е.В., Марахова Н.А., Красильникова В.С., Крючков Н.Р., Чекин М.Р., Макаров А.О., Абдулханова Д.Р. Опыт эколого-экономической оценки деградации земель агрохозяйств, расположенных в различных субъектах Российской Федерации // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2022. № 2. С. 116–120.
16. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. М., 1994 (Утверждена приказом Роскомзема и Минприроды России от 17 июля 1994 г).
17. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. М., 2010 (Утверждена приказом Минприроды России от 08.07.2010 г. № 238).
18. Об охране окружающей среды: федер. закон Рос. Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ; принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 20 декабря 2001 года: Одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 26 декабря 2001 года // Рос. газ. 2002 – 12 января.

19. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований М.: Колос, 1973. 48 с.
20. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами: Утв. Ком. Рос. Федерации по земел. ресурсам и землеустройству и М-вом охраны окружающей среды и природ. ресурсов Рос. Федерации в нояб. 1993 г. М.: Б. и., 1993. 30 с.
21. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций: официальный сайт. / Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ). 2023. URL: [https://www.fao.org/platforms/green-agriculture/areas-of-work/natural-resources-biodiversity-green-production/land-degradation-neutrality-\(ldn\)/ru](https://www.fao.org/platforms/green-agriculture/areas-of-work/natural-resources-biodiversity-green-production/land-degradation-neutrality-(ldn)/ru).
22. Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине / Под. Ред. д. г. н. В.Н. Голосова, д. г. н. О.П. Ермолаева. Казань: Изд-во АН РТ, 2019. 372 с.
23. Рекомендации по использованию нормативных материалов при определении экономического ущерба, причиняемого водной эрозией почв сельскому хозяйству, и эффективности отдельных противоэрозионных мероприятий в Центральном-Черноземном экономическом районе. Курск, 1985. 64 с.
24. Санжарова С.И., Сухановский Ю.П., Пруцик А.В. Статистический анализ влияния эродированности почвы на урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2009. № 5. С. 39–40.
25. Строков А.С., Макаров О.А., Чекин М.Р., Цветнов Е.В., Абдулханова Д.Р., Кубарев Е.Н. Апробация концепции экономики деградации земель (на примере Пензенской области) // Агрехимическая служба. 2022. № 5. С. 93–96.
26. Сухомлинова Н.Б., Петрова И.А. Оценка эколого-экономического ущерба от деградации земельно-ресурсного потенциала (Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Коргунова, филиал ДонГАУ) // Экономика и экология территориальных образований. 2015. № 3. С. 60–68.
27. Цветнов Е.В., Макаров О.А., Строков А.С., Цветнова О.Б. Роль почв в оценке деградации земель (обзор) // Почвоведение. 2021. № 3. С. 363–371.
28. Эколого-экономическая оценка ущерба от эрозии почв (Методические рекомендации по определению ущерба). Ворошиловград, 1984. 110 с.

29. Zhidkin A.P. Mapping and forecasting of changes of eroded soils (Central chernozem region of Russia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No. 659. p. 012006.
30. Van Oost K., Govers G., Desmet P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage // Landscape Ecology. 2000. No. 15. P. 577–589. DOI: [10.1023/A:1008198215674](https://doi.org/10.1023/A:1008198215674).
31. Van Oost K., Cerdan O., Quine T.A. Accelerated fluxes by water and tillage erosion on European agricultural land // Earth Surface Processes and Landforms. 2009. No. 34. P. 1625–1634. DOI: [10.1002/esp.1852](https://doi.org/10.1002/esp.1852).
32. Van Rompay A., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach // Earth Surface Processes and Landforms. 2001. No. 26 (11). P. 1221–1236. DOI: [10.1002/esp.275](https://doi.org/10.1002/esp.275).
33. Von Braun J., Gerber N., Mirzabaev A., Nkonya E. The Economics of Land Degradation. ZEF Working Paper Series. University of Bonn. 2013. No. 109. 20 p.

REFERENCES

1. Andreeva O.V., Kust G.S., Otsenka sostoyaniya zemel' v Rossii na osnove kontseptsii neutral'nogo balansa ikh degradatsii (Assessment of land conditions in Russia based on the concept of land degradation neutrality), *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2020, Vol. 84, No. 5, pp. 737–749.
2. Belyaeva M.V., Makarov O.A., Abdulkhanova D.R., Otsenka ushcherba ot degradatsii pochv i zemel' Samarskoi oblasti na urovne regiona, munitsipal'nogo raiona i agrokhozyaistva (Assessing damage from soil and land degradation in Samara Oblast at regional, municipal district and farm level), *Zemledelie*, 2022, No. 8, pp. 3–7.
3. Vanin D.E., Maiorov Yu.I., Soloshenko V.M., *Ekonomicheskie osnovy otsenki effektivnosti pochvozashchitnykh mer* (The economic basis for assessing the effectiveness of soil protection measures), Moscow: Agropromizdat, 1987, 152 p.
4. Golosov V.N., Gennadiev A.N., Olson K.R. et al., Prostranstvenno-vremennye osobennosti razvitiya pochvenno-erozionnykh protsessov v lesostepnoi zone Vostochno-Evropeiskoi ravniny (Spatial and temporal features of soil-erosion processes in the forest-steppe zone of the East European Plain), *Pochvovedenie*, 2011, No. 7, pp. 861–869.
5. Zhidkin A.P., Smirnova M.A., Gennadiev A.N., Lukin S.V., Zazdravnykh E.A., Lozbenov N.I., Tsifrovoe modelirovanie stroeniya i stepeni erodirovannosti pochvennogo pokrova (Prokhorovskii raion Belgorodskoi oblasti) (Digital modelling of the structure and degree of soil erosion

(Prokhorovsky district, Belgorod region)), *Pochvovedenie*, 2021, No. 1, pp. 17–30.

6. Zvonkov V.V., *Vodnaya i vetrovaya eroziya zemli* (Water and wind erosion of the land): AN SSSR, 1962, pp. 134–141 (175 p.).

7. Larionov G.A., Krasnov S.F., Litvin L.F., Dobrovolskaya N.G., Kiryukhina Z.P., *Empiricheskaya (statisticheskaya) model' erozii pochv* (An empirical (statistical) model of soil erosion), INFRA-M Moscow, 2017, pp. 154–173.

8. Lobkovskii V.A., Kust G.S., Andreeva O.V., Neitral'nyi balans degradatsii zemel': vozmozhnosti integratsii global'nykh i natsional'nykh indikatorov (Land degradation neutrality: possibilities for integrating global and national indicators), *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2018, No. 3, pp. 45–53.

9. Maiorov Yu.I., Medvedev N.V., Raschet usherba ot erozii pochv (Calculation of soil erosion damage), *Zemledelie*, 1986, No. 3, pp. 51–54.

10. Maiorov Yu.I., Soloshenko V.M., Poteri ot vodnoi erozii pochv (Losses from water erosion), *Zemledelie*, 1989, No. 6, pp. 31–33.

11. Maiorov Yu.I., Soloshenko V.M., *Poteri ot vodnoi erozii pochv v sel'skom khozyaistve i puti ikh snizheniya (ekonomicheskii aspekt)* (Losses from water erosion in agriculture and ways to reduce them (economic aspect)), Voronezh, Izd-vo VGU, 1991, 200 p.

12. Makarov O.A., Kamanina I.Z., *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka i sertifikatsiya pochv i zemel'* (Environmental-economic assessment and certification of soils and land), Moscow: MAKS Press, 2008, 240 p.

13. Makarov O.A., Marakhova N.A., Krasil'nikova V.S., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Abdulkanova D.R., Opyt otsenki usherba ot degradatsii pochv i zemel' munitsipal'nykh obrazovaniy Rossiiskoi Federatsii (Experience in Assessing Damage from Soil and Land Degradation in Municipalities in the Russian Federation), *Zemledelie*, 2022, No. 4, pp. 3–7.

14. Makarov O.A., Stokov A.S., Tsvetnov E.V., Bondarenko E.V., Kubarev E.N., Chistova O.A., Ermiyaev Ya.R., Aprobatsiya metodiki ekologo-ekonomicheskoi otsenki degradatsii zemel' (Validation of the methodology for environmental-economic assessment of land degradation), *Agrokhimicheskii vestnik*, 2017, No. 3, pp. 55–59.

15. Makarov O.A., Stokov A.S., Tsvetnov E.V., Marakhova N.A., Krasil'nikova V.S., Kryuchkov N.R., Chekin M.R., Makarov A.O., Abdulkanova D.R., Opyt ekologo-ekonomicheskoi otsenki degradatsii zemel' agrokhozyaistv, raspolozhennykh v razlichnykh sub"ektakh Rossiiskoi Federatsii (Experience of ecological and economic assessment of agricultural land degradation located in different constituent entities of the Russian Federation), *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*, 2022, No. 2, pp. 116–120.

16. *Pis'mo Goskomzema Rossii* (Methodology for Determining the Amount of Damage from Soil and Land Degradation), Moscow: Goskomzem of Russia, 17.07.1994.

17. *Prikaz Minprirody Rossii* (Methodology for calculating the amount of damage caused to soils as an object of environmental protection), Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of Russia, 08.07.2010, No. 238.

18. *FZ* (On environmental protection), Moscow, 26.01.2001, No. 7-FZ.

19. *Obshchesoynuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniia* (All-Union Instruction on Soil Surveys and Large-Scale Soil Maps of Land Use), Moscow: Kolos, 1973, 48 p.

20. *Poryadok opredeleniya razmerov ushcherba ot zagryazneniya zemel' khimicheskimi veshchestvami*: Utv. Kom. Ros. Federatsii po zemel. resursam i zemleustroistvu i M-vom okhrany okruzhayushchei sredy i prirod. resursov Ros. Federatsii v noyab. 1993 g. (Procedure for determining the amount of damage from pollution of lands with chemical substances: Approved by the Committee of the Russian Federation for Land Resources and Land Management and the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of the Russian Federation in November 1993), Moscow: B. i., 1993, 30 p.

21. *Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaistvennaya organizatsiya ob"edinennykh natsii*: ofitsial'nyi sait (Food and Agriculture Organization of the United Nations: official website), *Neitral'nyi balans degradatsii zemel' (NBDZ)*, 2023. URL: [https://www.fao.org/platforms/green-agriculture/areas-of-work/natural-resources-biodiversity-green-production/land-degradation-neutrality-\(Idn\)/ru](https://www.fao.org/platforms/green-agriculture/areas-of-work/natural-resources-biodiversity-green-production/land-degradation-neutrality-(Idn)/ru).

22. *Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti razvitiya sovremennykh protsessov prirodno-antropogennoi erozii na Russkoi ravnine* (Spatial and temporal patterns of development of modern processes of natural-anthropogenic erosion on the Russian plain), V.N. Golosov, O.P. Ermolaev (Eds), Kazan': Izd-vo AN RT, 2019, 372 p.

23. *Rekomendatsii po ispol'zovaniyu normativnykh materialov pri opredelenii ekonomicheskogo ushcherba, prichinyaemogo vodnoi eroziei pochv sel'skomu khozyaistvu, i effektivnosti otdel'nykh protiverozionnykh meropriyatii v Tsentral'no-Chernozemnom ekonomicheskom raione* (Recommendations on the use of normative materials in determining the economic damage caused by water erosion to agriculture and the effectiveness of certain erosion control measures in the Central Black Earth Economic Region), Kursk, 1985, 64 p.

24. Sanzharova S.I., Sukhanovskii Yu.P., Prushchik A.V., *Statisticheskii analiz vliyaniya erodirovannosti pochvy na urozhainost'*

sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Statistical analysis of the impact of soil erosion on crop yields), *Plodorodie*, 2009, No. 5, pp. 39–40.

25. Stokov A.S., Makarov O.A., Chekin M.R., Tsvetnov E.V., Abdulkhanova D.R., Kubarev E.N., Aprobatsiya kontseptsii ekonomiki degradatsii zemel' (na primere Penzenskoi oblasti) (Testing the concept of the economics of land degradation (case study of the Penza region)), *Agrokhimicheskaya Sluzhba*, 2022, No. 5, pp. 93–96.

26. Sukhomlina N.B., Petrova I.A., Otsenka ekologo-ekonomicheskogo ushcherba ot degradatsii zemel'no-resurnogo potentsiala (Novocherkasskii inzhenerno-meliorativnyi institut im. A.K. Kortunova, filial DonGAU) (Assessment of environmental and economic damage from degradation of land and resource potential (Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering named after A.K. Kortunov, branch of DonSAU. A.K. Kortunov, branch of DonSAU)), *Ekonomika i ekologiya territorial'nykh obrazovaniy*, 2015, No. 3, pp. 60–68.

27. Tsvetnov E.V., Makarov O.A., Stokov A.S., Tsvetnova O.B., Rol' pochv v otsenke degradatsii zemel' (obzor) (The role of soils in assessing land degradation (overview)), *Pochvovedenie*, 2021, No. 3, pp. 363–371.

28. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka ushcherba ot erozii pochv (Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu ushcherba)* (Ecological and Economic Assessment of Soil Erosion Damage (Methodological Recommendations on Damage Determination)), Voroshilovgrad, 1984, 110 p.

29. Zhidkin A.P., Mapping and forecasting of changes of eroded soils (Central Chernozem region of Russia), *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, No. 659, p. 012006.

30. Van Oost K., Govers G., Desmet P., Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage, *Landscape Ecology*, 2000, No. 15, pp. 577–589, DOI: [10.1023/A:1008198215674](https://doi.org/10.1023/A:1008198215674).

31. Van Oost K., Cerdan O., Quine T.A., Accelerated fluxes by water and tillage erosion on European agricultural land, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2009, No. 34, pp. 1625–1634, DOI: [10.1002/esp.1852](https://doi.org/10.1002/esp.1852).

32. Van Rompay A., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J., Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, No. 26 (11), pp. 1221–1236, DOI: [10.1002/esp.275](https://doi.org/10.1002/esp.275).

33. Von Braun J., Gerber N., Mirzabaev A., Nkonya E., The Economics of Land Degradation, *ZEF Working Paper Series. University of Bonn*, 2013, No. 109, p. 20.