

Научная статья

Original article

УДК 631.559 : 528.8

doi: https://doi.org/10.55186/2413046X_2026_11_5_62

edn: NCMHVT

**ОБОБЩЕННАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО РИСКА ЭРОЗИИ
ПОЧВ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ
SUMMARY ASSESSMENT OF ECONOMIC RISK OF SOIL EROSION
BASED ON LAND CONDITION MONITORING DATA**



Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», (пос. Радужный, д. 38, Коломна, Московская обл., Россия, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391> E-mail: rad_sc@bk.ru

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, leading researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Raduzhny village, 38, Kolomna, Moscow region, Russia, 140483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8348-4391>, E-mail: rad_sc@bk.ru

Аннотация. Отмечается, что оценка потерь урожая сельскохозяйственных культур является одной из основных среди экономических задач в растениеводстве. Повышение точности прогноза продуктивности сельскохозяйственных культур является важным инструментом в оценке рентабельности и рисков недобора урожая из-за различных предикторов. Цель настоящей работы заключалась в обобщенной экономической оценке риска недобора урожая сельскохозяйственных культур из-за развития водной эрозии почв. Прогноз урожайности выполнялся по значениям вегетационного спектрального индекса NDVI по спутниковым данным Sentinel-2.

Количественная оценка интенсивности эрозии выполнена по пересмотренному универсальному уравнению потерь почвы RUSLE. В результате исследований установлено, что максимальные потери получены для расчетного случая по метеорологическим параметрам для года 5% обеспеченности 60,52 и 89,59 тыс. руб./га соответственно для условий 2024 и 2025 гг.

Abstract. It is noted that the assessment of crop losses is one of the main tasks of the economic science of crop production. Improving the accuracy of crop productivity prediction is an important tool in assessing profitability and risks of crop shortfall due to various predictors. The purpose of the present work was to provide a generalized economic assessment of the risk of crop shortfall due to the development of water erosion of soils. Yield was predicted from NDVI vegetation spectral index values from Sentinel-2 satellite data. Erosion intensity was quantified using the revised RUSLE universal soil loss equation. As a result of the studies, it was established that the maximum losses were obtained for the calculated case according to meteorological parameters for 5% probability of 60.52 and 89.59 thousand rubles/ha, respectively, for the conditions of 2024 and 2025.

Ключевые слова: урожайность, эрозия, почва, риск, сельскохозяйственная культура

Keywords: yield, erosion, soil, risk, crop

Введение. Оценка потерь урожая сельскохозяйственных культур является одной из основных среди экономических задач в растениеводстве. Повышение точности прогноза продуктивности сельскохозяйственных культур является важным инструментом в оценке рентабельности и рисков недобора урожая из-за различных предикторов. Эрозионные процессы являются наиболее опасным видом деградации сельхозземель, вызывающих разрушение почв, утрату их плодородия и снижения урожайности [1, 2]. По различным оценкам около 80% всех сельскохозяйственных угодий в мире

подвержены умеренной и сильной эрозии, а около 10% страдают от слабой и умеренной эрозии [3]. По данным [4] в России водной эрозии подвержено 17,8% площади сельскохозяйственных угодий. В связи с этим, одной из задач Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации¹ является защита земель от эрозии. Оценка состояния земельных ресурсов находится в фокусе внимания многих исследователей [5, 6]. Тем не менее экономическая оценка различных рисков деградации земельных ресурсов является достаточно сложной задачей, требующей учета очень большого числа факторов [7, 8]. Определению экономического риска развития эрозионных процессов посвящены многие работы, в том числе [9, 10, 11].

Цель настоящей работы заключалась в обобщенной экономической оценке риска недобора урожая сельскохозяйственных культур из-за развития водной эрозии почв.

Материалы и методы исследования. В качестве модели продуктивности сельскохозяйственных культур использована известная формула А.А. Ничипоровича, отражающая зависимость урожайности абсолютно сухой растительной массы Y_{FAR} от количества приходящей фотосинтетически активной солнечной радиации за период вегетации культуры в данном регионе. Полученное значение Y_{FAR} приводилось к величине урожайности стандартной влажности $Y_{\text{ст.вл.}}$ по зависимости [12]. Прогноз урожайности Y_{NDVI} выполнялся по значениям вегетационного спектрального индекса NDVI по спутниковым данным Sentinel-2 по методике [13, 14]. Обобщенная оценка урожайности Y_k выполнена в зерновых единицах по методике [13]. Общая методология оценки вышеперечисленных показателей приведена в [14]. В данной работе принято следующее

¹ Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ № 731 от 14.05.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/400773886/> (Дата обращения 16.03.2026 г.).

допущение: оценка экономических рисков потерь урожая (риска эрозии) iVaR выполнена по уровню отпускных цен сельскохозяйственных товаропроизводителей по зависимости:

$${}^iVaR = C_y [Y_k F_{нт} - Y(F_{нт} - F_e)],$$

где $F_{нт}$ – площадь «нетто» (площадь посевов в границах анализируемого участка), га; F_e – площадь эродированной части участка; C_y – цена реализации единицы урожая.

Стоимость урожая в зерновых единицах определена по цене C_y реализации продукции, которая установлена по соответствующим данным Росстата. C_y соответственно в 2024 г. и 2025 г. составила 11854,14 и 13835,08 руб./га.

Для визуализации результатов исследования использовалась геоинформационная система QGIS, система координат WGS 84. Для вычисления вегетационных индексов NDVI использовались свободно распространяемые геореференцированные растровые изображения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спутника Sentinel-2. Вычисления выполнялись с помощью растрового калькулятора. Все сводные параметры оценивались по общепринятым методикам статистических тестов, в которых оценивалась медиана *median*, среднее *mean*, минимальное и максимальное значения *min* и *max* соответственно, SE – стандартная ошибка, SD – стандартное отклонение. В статье приведены статистически значимые результаты ($p \leq 0,05$).

Оценка площадей $F_{нт}$ и F_e использовалась с помощью инструментов анализа векторных полигонов в системе QGIS. При этом площадь эрозионных процессов в зависимости от обеспеченности R -фактора эрозионного потенциала дождевых осадков по пересмотренному универсальному уравнению потерь почвы RUSLE [15, 16]. В данном исследовании приводятся только результаты оценки F_e . Необходимо отметить, что при моделировании R -фактора эродирующей способности

дождей были использованы данные метеорологических наблюдений за среднесуточными значениями осадков за период со среднесуточной температурой воздуха $\geq +5^{\circ}\text{C}$ для метеорологической станции Коломна (WMO ID 27625). Территория Коломенского городского округа характеризуется следующими данными. Значение *mean* для 5% вероятности составляет $524,7 \pm 3,5$ МДж·мм / (га·ч·год) ($SE = 1,8$, $SD = 14,1$), *min* и *max* соответственно 500,9 и 548,4 МДж·мм / (га·ч·год). Значение *mean* для 25% вероятности составляет $344,2 \pm 1,9$ МДж·мм / (га·ч·год) ($SE = 0,9$, $SD = 7,9$), *min* и *max* соответственно 330,8 и 357,5 МДж·мм / (га·ч·год). Значение *mean* для 50% вероятности составляет $244,3 \pm 5,8$ МДж·мм / (га·ч·год) ($SD = 5,5$), *min* и *max* соответственно 237,8 и 261,1 МДж·мм / (га·ч·год). Значение *mean* для 75% вероятности составляет $168,8 \pm 2,8$ МДж·мм / (га·ч·год) ($SD = 4,3$), *min* и *max* соответственно 162,7 и 181,6 МДж·мм / (га·ч·год). Значение *mean* для 95% вероятности составляет $92,8 \pm 8,4$ МДж·мм / (га·ч·год) ($SD = 4,3$), *min* и *max* соответственно 90,3 и 98,9 МДж·мм / (га·ч·год).

Данные о севообороте собраны авторами в 2024 и 2025 г. в результате полевой работы на участках, расположенных в Коломенском городском округе Московской области. Общая площадь векторизованных участков земель сельскохозяйственного назначения составляет 65275,90 га (3128 контуров полей), из них по 24841,41 га (37,9%) в 2024 году и 26345,51 га (40,3%) в 2025 собраны сведения о возделываемой культуре и факте использования (соответственно 1115 и 1229 контуров полей). Наибольший удельный вес в 2024 и 2025 гг. составляют залежные земли (40,5% и 41,2% соответственно от всех обследованных земель). Среди выращиваемых культур больше всего зерновых (16,7% и 17,7%), кормовых (15,0% и 12,7%) и зернокормовых (10,3% и 8,4%). Картофель в 2025 г. выращивали на 6,9% (против 5,4% в 2024 г.) обследованных участков. Овощные культуры выращивали на площади 2,9% в 2024 г. и 2,1% в 2025 г. Площадь под масличными культурами в 2025 г. также уменьшилась и составила 2,1%

(против 2,7% в 2024 г.). площадь под зернобобовыми в сезоне 2025 г. увеличилась более чем в 2 раза до 2,2% (против 0,9% в 2024 г.). Более чем в 1,5 раза увеличилась площадь под зернофуражными до 5,4% в 2025 г. (против 3,3% в 2024 г.).

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 1 показаны результаты прогноза возникновения риска потери урожая в зерновых единицах ^{24}VaR и ^{25}VaR соответственно в 2024 и 2025 гг. в зависимости от обеспеченности уровня потенциальной опасности эрозии A по пересмотренному универсальному уравнению потерь почвы RUSLE. В 2024 г. риски потери урожая в результате развития эрозионных процессов, вычисленных на основе эрозионного фактора дождевых осадков по данным метеостанций, распределились следующим образом. Для 5% риска потери урожая фиксируется средний уровень рисков на один эродированный участок $60,52 \pm 1,81$ тыс. руб. ($SE = 0,92$, $SD = 22,88$). При этом общая сумма ущерба по всем участкам для данной модели составила 37340,32 тыс. руб. ($n = 617$ участков, на которых могли потенциально возникнуть данные риски). Для случаев появления потенциальной эрозии для вероятностей в диапазоне от 25 до 95% в 2024 г. фиксируется средний уровень риска на один эродированный участок от $17,15 \pm 0,72$ ($SE = 0,37$, $SD = 4,58$) для вероятности 75% до $49,78 \pm 1,48$ ($SE = 0,75$, $SD = 16,75$) для вероятности 95%. При этом общая сумма убытков по всем участкам варьируется от 99,86 тыс. руб. ($n = 28$ участков) для вероятности 95 % до 37340,32 тыс. руб. ($n = 617$ участков) для вероятности 25%. В 2025 г. риски потери урожая в результате развития эрозионных процессов, вычисленных на основе эрозионного фактора дождевых осадков по данным метеостанций, распределились следующим образом. Для 5% риска потери урожая фиксируется средний уровень рисков на один эродированный участок $89,59 \pm 2,10$ тыс. руб. ($SE = 1,07$, $SD = 28,44$). При этом общая сумма ущерба по всем участкам для данной модели составила 63337,27 тыс. руб. ($n = 707$ участков). Для случаев появления

потенциальной эрозии для вероятностей в диапазоне от 25 до 95% в 2025 г. фиксируется средний уровень риска на один эродированный участок от $4,86 \pm 0,51$ ($SE = 0,25$, $SD = 1,29$) для вероятности 95% до $72,89 \pm 1,74$ ($SE = 0,89$, $SD = 21,27$) для вероятности 25%. При этом общая сумма убытков по всем участкам варьируется от 131,25 тыс. руб. ($n = 27$ участков) для вероятности 95 % до 41839,97 тыс. руб. ($n = 574$ участка) для вероятности 25%.

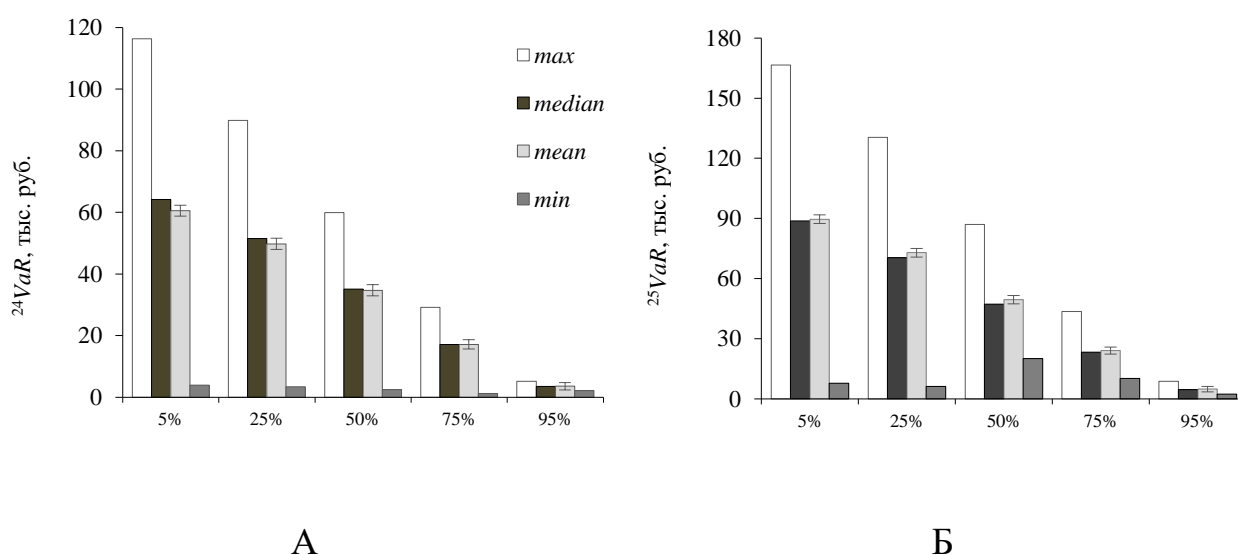


Рисунок 1 – Экономические риски потери урожая различной обеспеченности в зависимости от расчетного случая потенциальной опасности эрозии в 2024 (А) и 2025 (Б) гг.: 5, 25, 50, 75 и 95% – соответствующие уровни вероятности превышения расчетного значения эрозионного потенциала осадков по метеорологическим наблюдениям.

На рисунке 2 показаны результаты прогноза площади возникновения эрозии ${}^{24}F_e$ и ${}^{25}F_e$ соответственно в 2024 и 2025 гг. в зависимости от обеспеченности уровня потенциальной опасности эрозии А по пересмотренному универсальному уравнению потерь почвы RUSLE. В 2024 г. фиксируется средний уровень рисков на один эродированный участок соответственно $20,87 \pm 2,02$ га ($SE = 1,03$, $SD = 26,39$) и $20,99 \pm 2,00$ га ($SE = 1,02$, $SD = 26,45$). При этом общая площадь всех участков для данных моделей

соответственно составила 13651,785 га ($n = 654$ участка) и 14023,14 га ($n = 668$ участков). В 2025 г. фиксируется средний уровень рисков на один эродированный участок соответственно $21,38 \pm 1,95$ га ($SE = 0,99, SD = 27,02$) и $21,22 \pm 1,93$ га ($SE = 0,98, SD = 26,98$). При этом общая площадь всех участков для данных моделей соответственно составила 15823,30 га ($n = 740$ участков) и 16064,22 га ($n = 757$ участков).

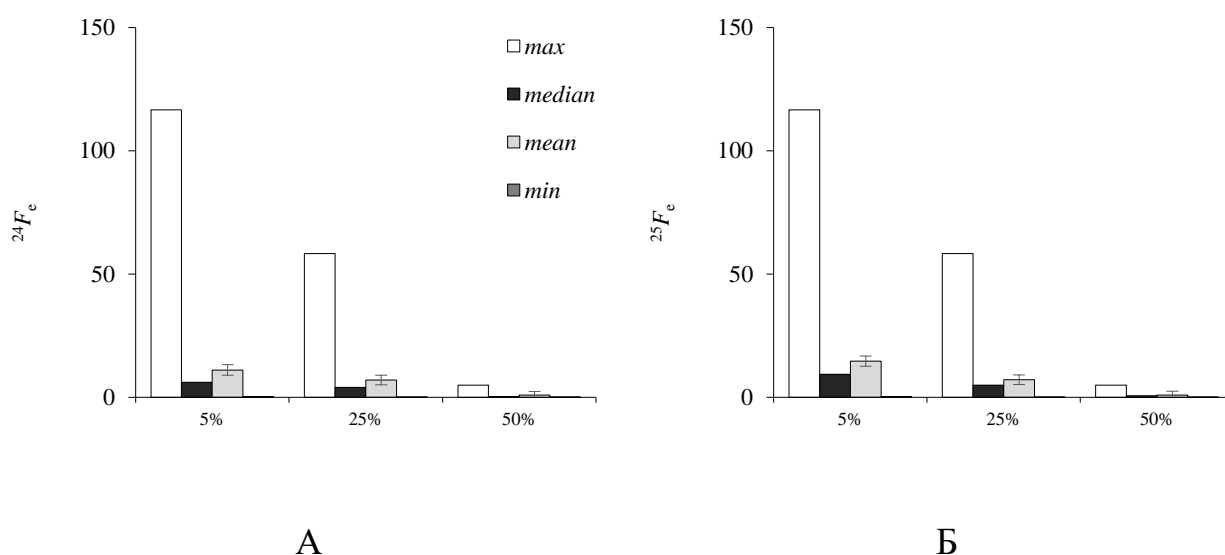


Рисунок 2 – Площадь возникновения эрозии различной обеспеченности в зависимости от расчетного случая ее потенциальной опасности в 2024 (А) и 2025 (Б) гг.

На завершающем этапе исследования оценены вероятные экономические потери в зависимости от обеспеченности величины эрозии. Необходимо отметить, что для условий 2025 г. экономические риски возросли для 5% вероятности в среднем на 28,09...29,07 тыс. руб./га., а для расчетного случая 25% и 95% вероятностей – на 23,11 и 1,29 тыс. руб./га соответственно. В 2025 г. максимальные потери получены для расчетного случая по метеорологическим параметрам 5% обеспеченности – 89,59 тыс. руб./га. Аналогичный вывод можно сделать для 2024 г. – максимальные потери получены для расчетного случая по метеорологическим параметрам 5%

обеспеченности – 60,52 тыс. руб./га. На рисунке 3 приведена гистограмма обобщенной экономической оценки риска недобора урожая из-за развития эрозии.

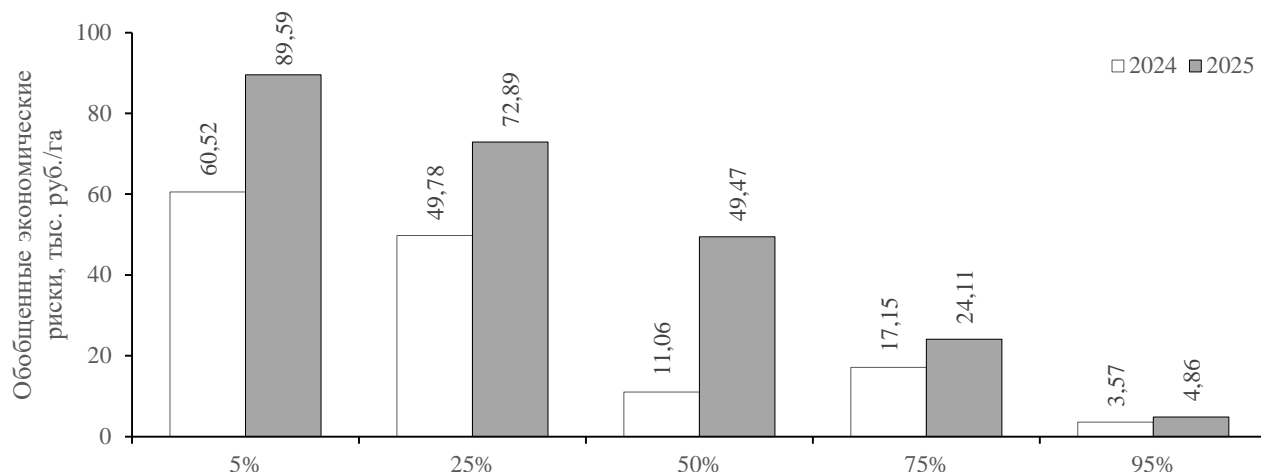


Рисунок 3 – Гистограмма оценки вероятных экономических потерь в зависимости от обеспеченности величины эрозии

Выводы. Выполненные оценки обобщенных экономических потерь от недобора урожая из-за развития эрозии позволяют с учетом прогноза урожайности и структуры севооборота нивелировать ожидаемые возможные экономические риски для сельскохозяйственного производства. Так, например, знание величины риска позволит оценивать необходимые превентивные мероприятия, чтобы избежать развитие эрозии и нивелировать экономические потери.

Список источников

1. Temporal variability of global potential water erosion based on an improved USLE model / Li, J., Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. // International Soil and Water Conservation Research, 2024, vol. 12(1), P. 1–12. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.03.005.
2. Monitoring and forecasting water erosion in response to climate change effects using the integration of the global RUSLE/SDR model and predictive models /

Fatima, B., Rachid, H., Abdeldjalil, B., Abdessalam, O., Mohamed, B., Alfagham, A. T., & Tariq, A. // *Applied Soil Ecology*, 2025, vol. 206. doi: 10.1016/j.apsoil.2025.105910.

3. Crop production and economic loss due to wind erosion in hot arid ecosystem of India / Santra, P., Moharana, P. C., Kumar, M., Soni, M. L., Pandey, C. B., Chaudhari, S. K., & Sikka, A. K. // *Aeolian Research*, 2017, vol. 28, P. 71–82. doi: 10.1016/j.aeolia.2017.07.009.

4. Агролесомелиорация / Под ред. акад. РАСХН А.Л. Иванова и К.Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.

5. Кочарли С.А., Мустафаев М.Г., Велиева З.М., Ахмедзаде Э.М. Взаимосвязь между агрофизическими свойствами и спектрофотометрическими показателями почв Кура-Аразской низменности Азербайджана // *Экология и строительство*. 2026. № 1. С. 4–10. doi: 10.35688/2413-8452-2026-01-001.

6. Запасы гумуса в различных типах почв на склонах южной экспозиции Большого Кавказа на примере Огузского района Азербайджанской Республики / С.М. Шахмалиева, Э.М. Мустафаев // *Экология и строительство*. 2025. № 1. С. 12-19. doi: 10.35688/2413-8452-2025-01-002. – EDN CSVPYY.

7. The Cost of Soil Erosion in Vineyard Fields in the Penedès–Anoia Region (NE Spain) / Martínez-Casasnovas, J.A.; Ramos, M.C. // *Catena*, 2006, vol. 68, P. 194–199.

8. Badreldin N., Lobb D.A. The Costs of Soil Erosion to Crop Production in Canada between 1971 and 2015 // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, 4489. doi: 10.3390/su15054489.

9. Картографирование эколого-экономического риска на эрозионноопасной территории / Е.А. Таланов // *Известия Томского политехнического университета*. 2007. Т. 311, № 1. С. 141-145. EDN JVNFBF.

10. Istanbuly M. N., Krása J., Amiri B. J. How Socio-Economic Drivers Explain Landscape Soil-Erosion Regulation Services in Polish Catchments // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19(4). doi: 10.3390/ijerph19042372.
11. Перспективы развития экономической оценки эродированных почв / Макаров О.А., Демидов В.В., Карпова Д.В., Шульга П.С., Абдулханова Д.Р., Есафова Е.Н., Кубарев Е.Н., Михайловский В.И. // Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение. 2024. № 3. С. 7-18. doi: 10.55959/MSU01 37-0944–17-2024-79-3-7–18.
12. Gao B. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. Vol. 58. No. 3. pp. 257-266. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
13. Прогноз урожайности в зерновых единицах с помощью геоинформационной системы для оценки эффективности реализации проектов мелиорации / М.С. Зверьков, И.С. Мазурова // Московский экономический журнал. 2025. Т. 10, № 12. С. 404-420. doi: 10.55186/2413046X_2025_10_12_295.
14. Провести исследования и выполнить оценку снижения урожайности сельскохозяйственных культур на мелиорируемых землях, подверженных эрозионным процессам, с помощью методов дистанционного зондирования и оперативного мониторинга / отчет о НИР; № гос. рег. 224013100558-1; № гос. Задания № 082-00079-23-01; Коломна, ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2023. 112 с.
15. RUSLE modeling and spatial approach in soil erosion-prone areas for erosion rate prediction and strengthening land use planning in the Battang River basin, Palopo City / Ali, M., Rasyid, A. R., Ihsan, I., Sastrawati, I., Nur, D. S. A., Asano, J., ... Makkuaseng, A. M. A. // Progress in Disaster Science. 2026. Vol. 29. doi: 10.1016/j.pdisas.2025.100499.
16. Quantification of Soil–Water Erosion Using the RUSLE Method in the Mékrou Watershed (Middle Niger River) / Attoubounou, R.A.; Diawara, H.; Ludwig, R.;

Adoukpe, J. // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2025, vol. 14, 28. doi: 10.3390/ijgi14010028.

References

1. Temporal variability of global potential water erosion based on an improved USLE model / Li, J., Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. // International Soil and Water Conservation Research, 2024, vol. 12(1), P. 1–12. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.03.005.
2. Monitoring and forecasting water erosion in response to climate change effects using the integration of the global RUSLE/SDR model and predictive models / Fatima, B., Rachid, H., Abdeldjalil, B., Abdessalam, O., Mohamed, B., Alfagham, A. T., & Tariq, A. // Applied Soil Ecology, 2025, vol. 206. doi: 10.1016/j.apsoil.2025.105910.
3. Crop production and economic loss due to wind erosion in hot arid ecosystem of India / Santra, P., Moharana, P. C., Kumar, M., Soni, M. L., Pandey, C. B., Chaudhari, S. K., & Sikka, A. K. // Aeolian Research, 2017, vol. 28, P. 71–82. doi: 10.1016/j.aeolia.2017.07.009.
4. Agrolesomeliorsiya / Pod red. akad. RASKHN A.L. Ivanova i K.N. Kulika. Volgograd: VNIALMI, 2006. 746 s.
5. Kocharli S.A., Mustafaev M.G., Velieva Z.M., Akhmedzade Eh.M. Vzaimosvyaz' mezhdru agrofizicheskimi svoistvami i spektrofotometricheskimi pokazatelyami pochv Kura-Arazskoi nizmennosti Azerbaidzhana // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2026. No 1. C. 4–10. doi: 10.35688/2413-8452-2026-01-001.
6. Zapasy gumusa v razlichnykh tipakh pochv na sklonakh yuzhnoi ehkspozitsii Bol'shogo Kavkaza na primere Oguzskogo raiona Azerbaidzhanskoi Respubliki / S.M. Shakhmalieva, Eh.M. Mustafaev // Ehkologiya i stroitel'stvo. 2025. № 1. S. 12–19. doi: 10.35688/2413-8452-2025-01-002. – EDN CSVPPYY.
7. The Cost of Soil Erosion in Vineyard Fields in the Penedès–Anoia Region (NE Spain) / Martínez-Casasnovas, J.A.; Ramos, M.C. // Catena, 2006, vol. 68, P. 194–199.

8. Badreldin N., Lobb D.A. The Costs of Soil Erosion to Crop Production in Canada between 1971 and 2015 // Sustainability. 2023. Vol. 15, 4489. doi: 10.3390/su15054489.
9. Kartografirovaniye ehkologo-ehkonomicheskogo riska na ehrozionnoopasnoi territorii / E.A. Talanov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2007. T. 311, № 1. S. 141-145. EDN JVNFBF.
10. Istanbuly M. N., Krása J., Amiri B. J. How Socio-Economic Drivers Explain Landscape Soil-Erosion Regulation Services in Polish Catchments // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19(4). doi: 10.3390/ijerph19042372.
11. Perspektivy razvitiya ehkonomicheskoi otsenki ehrodirovannykh pochv / Makarov O.A., Demidov V.V., Karpova D.V., Shul'ga P.S., Abdulkhanova D.R., Esafova E.N., Kubarev E.N., Mikhailovskii V.I. // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. 2024. № 3. S. 7-18. doi: 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-7-18.
12. Gao B. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. Vol. 58. No. 3. pp. 257-266. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
13. Prognoz urozhainosti v zernovykh edinitsakh s pomoshch'yu geoinformatsionnoi sistemy dlya otsenki ehffektivnosti realizatsii proektov melioratsii / M.S. Zver'kov, I.S. Mazurova // Moskovskii ehkonomicheskii zhurnal. 2025. T. 10, № 12. S. 404-420. doi: 10.55186/2413046X_2025_10_12_295.
14. Provesti issledovaniya i vypolnit' otsenku snizheniya urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na melioriruemykh zemlyakh, podverzhennykh ehrozionnym protsessam, s pomoshch'yu metodov distantsionnogo zondirovaniya i operativnogo monitoringa / otchet o NIR; № gos. reg. 224013100558-1; № gos. Zadaniya № 082-00079-23-01; Kolomna, FGBNU VNII «Raduga», 2023. 112 s.
15. RUSLE modeling and spatial approach in soil erosion-prone areas for erosion rate prediction and strengthening land use planning in the Battang River basin, Palopo

City / Ali, M., Rasyid, A. R., Ihsan, I., Sastrawati, I., Nur, D. S. A., Asano, J., ...
Makkuaseng, A. M. A. // Progress in Disaster Science. 2026. Vol. 29. doi:
10.1016/j.pdisas.2025.100499.

16. Quantification of Soil–Water Erosion Using the RUSLE Method in the Mékrou
Watershed (Middle Niger River) / Attoubounou, R.A.; Diawara, H.; Ludwig, R.;
Adoukpe, J. // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2025, vol. 14, 28. doi: 10.3390/ijgi14010028.

© Зверьков М.С., 2026. *Московский экономический журнал*, 2026, № 5.