

---

# МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

---

МЕЛІОРАЦІЯ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.459

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.56>

---

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАХИСТУ ҐРУНТІВ ВІД ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ

---

**Кравченко В.І.** – к.т.н.,

доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії,  
Херсонський державний аграрно-економічний університет

**Кравченко В.П.** – к.е.н.,

доцент кафедри фінансів, банківської справи та страхування,  
Центральноукраїнський національний технічний університет

На сьогодні одним із показників деградації ґрунтів в Україні є водна ерозія, що присутня на 17% орних площ. Для подолання зазначеної проблеми запропонована система управління захисту ґрунтів від водної ерозії. Розробка такої системи обумовлена тим, що наявність сучасних організаційно-господарських, гідротехнічних, агротехнічних та лісо-технічних протиерозійних заходів та технологій, не завжди забезпечують оптимальний їх вибір у кожному конкретному випадку, оскільки пов'язані з численними чинниками і значною витратою часу.

Протиерозійні заходи потребують моделей прогнозування, які б враховували ландшафтно-екологічні, антропогенні та інші фактори і умови. Але існуючі на цей час такі моделі як *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, *Water Erosion Prediction Project (WEPP)*, *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, *EPIC* та інші, характеризуються різними ступенями узагальнення, вибірковості і використання інформації, а універсальна модель прогнозування відсутня.

Сучасний супутниковий моніторинг полів із застосуванням, наприклад, платформи *EOSDA Crop Monitoring* забезпечує тільки визначення стану ґрунтів та посівів на конкретних ділянках.

Система управління захисту ґрунтів від водної ерозії є комплексною та адаптивною. Описано алгоритм управління процесом захисту ґрунтів від водної ерозії. Система складається з низки заходів, із застосуванням яких поетапно здійснюється оцінка ґрунту та моніторинг його стану за допомогою ГІС-технологій, прогнозування втрат ґрунту, оперативне та адекватне реагування з впровадженням ефективних протиерозійних заходів чи технологій. Для розрахунку втрат ґрунту система управління, в залежності від виду ерозії, може обирати оптимальну модель прогнозування. Застосування системи управління захисту ґрунтів від водної ерозії дозволить оперативно оцінювати і застосовувати надійні протиерозійні рішення та скорочувати витрати.

**Ключові слова:** деградація земель, водна ерозія, моделі прогнозування, система управління, протиерозійні заходи.

---

**Kravchenko V.I., Kravchenko V.P. Development of a management system for soil protection against water erosion**

Today, one of the indicators of soil degradation in Ukraine is water erosion, which is present on 17% of arable land. To overcome this problem, a management system for soil protection against water erosion is proposed. The development of such a system is due to the fact that the availability of modern organizational and economic, hydrotechnical, agrotechnical and forestry anti-erosion measures and technologies do not always ensure their optimal selection in each specific case, as they are associated with numerous factors and significant time consumption.

Anti-erosion measures require forecasting models that take into account landscape-ecological, anthropogenic and other factors and conditions. But currently existing models such as Universal Soil Loss Equation (USLE), Water Erosion Prediction Project (WEPP), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), ERIS and others are characterized by different degrees of generalization, selectivity and use of information, and the universal model there is no prediction.

Modern satellite monitoring of fields using, for example, the EOSDA Crop Monitoring platform provides only determination of the condition of soils and crops in specific areas.

The management system of soil protection against water erosion is complex and adaptive. The algorithm for managing the process of soil protection against water erosion is described. The system consists of a number of measures, in which soil assessment and monitoring of its condition are carried out in stages using GIS technology, prediction of soil loss, prompt and adequate response with the implementation of effective anti-erosion measures or technologies. To calculate soil losses, the management system, depending on the type of erosion, can choose the optimal forecasting model. The use of a management system for the protection of soils from water erosion will allow to quickly assess and apply reliable anti-erosion solutions and reduce costs.

**Key words:** land degradation, water erosion, forecasting models, management system, anti-erosion measures.

**Постановка проблеми.** На сьогодні аграрний сектор залишається ключовим для розвитку економіки нашої країни, а ґрунти є головним її багатством. Однак цим стратегічно важливим ресурсом, на жаль, аграрії не завжди розпоряджаються раціонально. Так, через природні та антропогенні чинники продовжує відбуватися небезпечний процес деградації ґрунтів. На сьогодні одним із показників деградації ґрунтів в Україні є водна ерозія, що присутня на 17% орних площ [1] і щороку від цих процесів втрачаються мільйони тон ґрунту. Втрати продукції землеробства від ерозії перевищують 9-12 млн. тон зернових одиниць щороку.

Ефективну охорону земель від ерозії можна здійснювати тільки на засадах адекватного прогнозування і врахування ерозійної небезпеки, яка змінюється у просторі і у часі.

Щоб забезпечити надійний захист ґрунтів від посиленої ерозії та спрогнозувати і врахувати ерозійну небезпеку, застосовуються наступні протиерозійні групи заходів: організаційно-господарські, гідротехнічні, агротехнічні та лісотехнічні. Оптимальний вибір протиерозійного заходу у кожному конкретному випадку пов'язаний з численними чинниками і значним часом.

Для спостереження і контролю за станом земель з виявленням проблемних ділянок та прогнозування втрат верхнього гумусового шару ґрунту сьогодні можуть використовуватися геоінформаційні системи (ГІС-технології) та різні моделі прогнозування ерозії.

Зазначені заходи та моделі здатні вирішувати окремі питання загальної проблеми водної ерозії ґрунтів, але до тепер відсутня комплексна система, яка б враховуючи наявні ґрунтові характеристики, види ерозії, численні заходи та технології боротьби з нею, оперативно та адекватно забезпечувала прогнозування і реагування на пошук ефективних рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні проблеми деградації ґрунтів, зокрема водної ерозії, достатньо повно викладено і проаналізовано у працях С.А. Балюка, В.В. Медведєва, Л.І. Воротинцева, В.В. Шимеля, О.О. Світличного, С.Г. Чорного, Яремка Ю.І. та ін.

Актуальні основи створення моделей для визначення впливу водної ерозії на ґрунти розглядалися у працях М.В. Куценка, О.О. Світличного, О.Г. Тараріка, Г.І. Швєбса. Завдяки їхнім розробкам, сучасного розвитку та наповнення набули теорія і практика деградації ґрунтів від водної ерозії [2].

Сучасні протиерозійні заходи потребують моделей, які б враховували ландшафтно-екологічні та антропогенні фактори і умови. Реалізація підходу моделювання території дасть можливість оцінити небезпеку ерозії в просторових умовах на різних типах ґрунтів, рослинного покриву та мінливою кількістю опадів.

До числа моделей протиерозійного проектування, що використовуються, можна віднести наступні: універсальне рівняння ерозійних втрат ґрунту (USLE) [3], формула змиву ґрунту Г.П. Сурмача [4], логіко-математичну модель ерозійних втрат ґрунту Г.І. Швєбса [4] та інші.

Модель Universal Soil Loss Equation (USLE) призначена для моделювання ефектів площинного змиву та лінійної ерозії без урахування процесів розмиву. Ця модель залишається базовим національним стандартом для прогнозу ерозії ґрунту у країнах ЄС [5].

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) є більш досконалим варіантом моделі USLE. Ця емпірична модель, яка розраховує довгострокові середньорічні втрати ґрунту внаслідок ерозії валів. Модель враховує шість основних факторів, що контролюють ерозію ґрунту: ерозійність агенту ерозії, тобто води, здатність до ерозії ґрунту, довжину та крутизну схилу ділянки, ґрунтовий покрив [6].

Детальною і фізично обґрунтованою моделлю водної ерозії, яка заснована на системі одновимірних або двовимірних диференціальних рівнянь балансу речовини та енергії, є ерозійна модель американського Проекту прогнозу водної ерозії (WEPP) (Water Erosion Prediction Project). Основу цього програмного комплексу становлять чотири блоки: «Клімат», що призначений для прогнозування обсягів та інтенсивності випадання злив; «Ґрунт», що характеризує протиерозійну здатність ґрунтів; «Агрофон», що містить інформацію про стан поверхні ґрунту та рослинність на момент моделювання; «Рельєф», який описує конфігурацію поверхні [7].

Модель EPIC відтворює водну ерозію, що викликана зливою і короткочасними опадами та заснована на універсальному рівнянні USLE [8].

Розглянуті моделі мають різний ступінь обґрунтування умов і показників за якими моделюються ерозійні процеси, та можуть використовуватися тільки для конкретних природногосподарських умов певного регіону, тому не несуть універсальний характер і застосування. Тому пошук і створення універсальної моделі прогнозування ерозії ґрунтів для умов різних регіонів України зберігає свою актуальність

На сьогодні існує низка робіт присвячених інтеграції моделей ерозії ґрунтів в сучасні ГІС-технології [9,10]. З використанням базових модулів реалізуються наступні функції:

- введення і верифікація даних;
- перетворення систем координат і трансформації картографічних проєкцій;
- аналізу і моделювання;
- взаємодії з користувачем;
- зберігання і маніпулювання даними; виведення і подання даних.

Однією з сучасних ГІС-технологій є платформа EOSDA Crop Monitoring – онлайн-сервіс для супутникового моніторингу полів, яка допомагає аграріям визначити стан ґрунтів та посівів на конкретних ділянках [11].

Короткий аналіз праць у визначеному напрямку показує, що незважаючи на наукові дослідження та рекомендації щодо вирішення комплексного питання захисту земель від водної ерозії, актуальність даної проблеми залишається. Тому потрібно вишукувати нові шляхи та удосконалювати існуючі способи для ефективного вирішення цих задач.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка системи управління захисту ґрунтів від водної ерозії, що забезпечить моніторинг вологості ґрунту заданої території з визначенням небезпечних ерозійних ділянок, спрогнозує втрати верхнього гумусного шару ґрунту та здійснить адекватне реагування з оптимальним вибором заходів боротьби з ерозійними процесами.

**Виклад основного матеріалу.** Оскільки протиерозійні заходи, існуючі моделі ерозійних втрат та ГІС-технології не здатні окремо, у повній мірі, вирішити проблему водної ерозії, для досягнення синергетичного ефекту у вирішенні питання зупинення деградації земель розроблена система управління захисту ґрунтів від водної ерозії. Запропонована система управління передбачає комплексний підхід, який складається з певних етапів та алгоритму їх виконання (рис. 1).

На першому етапі згідно запропонованої системи проводиться комплексний аналіз ґрунту і у першу чергу вимірюється його вологість, яка може бути визначена кількома методами: прямим, непрямим, дистанційним або альтернативними.



Рис. 1. Система управління захисту ґрунтів від водної ерозії

Джерело: розроблено авторами

На другому етапі визначається вид водної ерозії: краплинна, площинна, лінійна, яружна або тунельна.

Наступний етап передбачає оцінку груп факторів (умови рельєфу, ґрунтові умови, кліматичні умови тощо), які можуть вплинути на розвиток водної ерозії. Для запобігання ерозії апріорі повинні бути розроблені та запроваджені організаційно-господарські, агротехнічні, лісомеліоративні або гідротехнічні заходи чи технології.

На етапі моніторингу за допомогою платформи EOSDA Crop Monitoring дистанційним зондуванням відстежується стан поля, виявляються найбільш проблемні ділянки, насичення ґрунтом водою та одержуються відомості про наявність ознак водної ерозії. Отримані дані дозволять створювати карти вологості ґрунту, за якими визначають криві вмісту вологи на проблемних ділянках територій, та проводити контроль їх вологості.

Контроль вологості ґрунту та оцінка результатів моніторингу є важливими аспектами не тільки для попередження ерозійних процесів та забезпечення проростання рослин. Такі дані допоможуть запобігти зменшенню рівня оптимальної вологості та підтримати зволоження на необхідному рівні, що може бути досягнуто, наприклад, шляхом іригації та забезпечити високий врожай.

Дані етапу контролю вологості ґрунту та оцінки результатів характеристик поля, посівів, функціонування техніки, кліматичних умов тощо, дають можливість передати інформацію для подальшого етапу прогнозування результатів ерозії.

Вибір моделі протиерозійного проектування здійснюється в залежності від їх функціональності та потреб споживача.

Заключні етапи системи управління пов'язані з повторним аналізом стану ерозійних руйнувань контрольованої ділянки після опадів та співставленням фактичних результатів з прогнозним. У випадку незадовільного результату застосовуються більш дієві заходи або технології боротьби з водною ерозією.

**Висновки.** Запропонована система управління захисту ґрунтів від водної ерозії дозволить отримувати повну інформацію для адекватної боротьби з водною ерозією через відстеження стану ґрунту та насичення його вологою, оцінювання поточної ситуації, прогнозування завданої шкоди від опадів та талих вод, своєчасного виявлення проблемних ділянок з можливістю оперативного реагування та впровадження ефективних протиерозійних заходів або технологій.

Крім того, така система дасть можливість фермерам з більшою вірогідністю передбачати ситуацію на перспективу, приймати надійні рішення, ефективно управляти множинними полями та скорочувати витрати.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Деградація ґрунтів в Україні набирає обертів. *Агрономія 2021*. URL: <https://agrotimes.ua/agronomiya/degradacziya-gruntiv-v-ukrayini-nabyrae-obertiv/>.
2. Светличный А.А., Черный С.Г., Швебе Г.И. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты / под ред. А.А. Светличный. Суми : Університетська книга, 2023. 410 с.
3. Ерозія ґрунту та заходи захисту сільськогосподарських угідь від неї. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros/ wp-content/uploads/sites/20/lekcija-13.erozija-gruntu-ta-zahody-zahystu-silskohospodarskyh-uhid-vid-neyi.pdf>.
4. Світличный О.О., Чорний С.Г. Основи ерозієзнавства : підручник. Суми : ВТД «Університетська книга», 2007. 266 с. URL: [https://geoknigi.com/book\\_view.php?id=1473](https://geoknigi.com/book_view.php?id=1473).

5. P.I.A. Kinnell Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models, *Journal of Hydrology*. Volume 385, Issues 1–4, 7 May 2010, Pages 384–397. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169410000739>.
  6. Soil Erosion Analysis using RUSLE Model at the Minitod Area, Penampang, Sabah, Malaysia. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1358/1/012066/pdf>.
  7. Transactions of the ASABE Vol. 50(5): 1603-1612 2007 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351 1603
  8. WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP): DEVELOPMENT HISTORY, MODEL CAPABILITIES, AND FUTURE ENHANC
  9. Transactions of the ASABE Vol. 50(5): 1603-1612 2007 American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351 1603
  10. WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP): DEVELOPMENT HISTORY, MODEL CAPABILITIES, AND FUTURE ENHANC
  11. D. C. Flanagan, J. E. Gilley, T. G. Franti Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development History, Model Capabilities, and Future Enhancements / July 2007. Transactions of the ASABE. Vol. 50(5): 1603-1612. URL: <https://www.ars.usda.gov/ARSDocuments/2007/05/20070500/WEPP/weppHistory.pdf>.
  12. G.C. Sander, C.W. Rose, W.L. Hogarth, J.-Y. Parlange, I.G. Lisle MATHEMATICAL MODELS. Vol. II. Mathematical Soil Erosion Modeling. URL: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c02/E6-03B-05-05.pdf>.
  13. Куценко М. В. Геоінформаційне забезпечення моделей ерозії ґрунтів. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. № 1–2, 2012. С. 35–41. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/917>.
  14. Підлипна М.П. Використання ГІС технологій для здійснення зонування земель. Молодий вчений, 2015. № 2 (17). С. 8–10. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv\\_2015\\_2%283%29\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2015_2%283%29_3).
  15. EOSDataAnalytics/Аналітикастануполів. URL: <https://latifundist.com/kompanii/1594-eos-crop-monitoring>.
-