

## УДК 528.94

**Шквир І. М., асистент** (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

### МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ НА ҐРУНТИ

**Наведено результати дослідження щодо оцінювання території на рахунок прояву водної ерозії. Розглянуто фактори, які на основі попередніх досліджень мають найбільший вплив на утворення водної ерозії. Наведено приклад стандартизації розрізнених факторів до спільної шкали вимірювання та на основ методу зваженого лінійного комбінування отримано картограму ерозійного потенціалу території. *Ключові слова:* багатокритеріальний аналіз, фактор, залежність.**

**Вступ.** Визначення територій, які мають високий ризик прояву водної ерозії, – провідне завдання в галузі охорони ґрунтів та управління земельними ресурсами. Переважна більшість методик по визначенню ступеня ерозійної небезпеки мають або складні розрахунки при моделюванні, або суперечливий характер вибраних показників. Крім того, залучення в сільське господарство великих площ орних земель не дає можливості швидко оцінити ризик утворення ерозії. Важливість оцінювання земель у стислі строки потребує вирішення питання автоматизації робіт з отриманням даних про ерозійну небезпеку.

**Постановка проблеми.** Проведення робіт, пов'язаних з моделюванням показників стану земель сільськогосподарського призначення на значних територіях, потребують використання геоінформаційних технологій. Багато методик, що зустрічаються в літературі, по визначенню ступеня ерозійної небезпеки є або не ефективними [1], або враховують недостатню кількість факторів [2]. Отже, постало завдання розроблення моделі визначення ерозійної небезпеки, яка б мала необхідний набір показників та алгоритми автоматичного аналізу. В попередніх дослідженнях нами було визначено необхідний перелік факторів для ефективного оцінювання потенційної небезпеки прояву ерозії. Фактори підбрані за принципом необхідного мінімуму та мають найвищу вагу впливу на утворення ерозії.

**Аналіз попередніх досліджень.** Дослідження по визначенню втрат ґрунту в наслідок водної ерозії в Україні налічують не один десяток років. Ще за радянських часів було створено наукові центри для дослідження цього питання, в яких були розроблені моделі для кількісного оцінювання змиву ґрунту та моделі оцінювання потенційної небезпеки утворення ерозії.

Так, в Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова

під керівництвом Г.І. Швєбса, а згодом О.О. Світличним було розроблено і постійно вдосконалюється логіко-математична модель зливого змиву – акумуляції ґрунту [3-4], крім того, проводиться велика низка наукових досліджень по даній темі [5-6].

В лабораторії Національного наукового центру «Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» (м. Харків) групою вчених на чолі з М.В. Куценко, О.В. Кругловим, А.Б. Ачасовим, С.Ю. Булигіним та ін. проводилися дослідження на тему моделювання змиву ґрунту [7-8] та вдосконалення вже існуючих методик [9].

На кафедрі ГІС і технологій Національного університету біоресурсів і природокористування було проведено ряд досліджень на тему моделювання якісного стану земельних ресурсів [10-11].

Ці методи хоч і мають багато впроваджень та високий рівень достовірності отриманих результатів, однак потребують складного алгоритму розрахунку та наборів специфічних даних, що ускладнює їх широке впровадження у виробництво. Крім того, для підтримки процесу управління земельними ресурсами достатньо визначити ділянки території, які мають підвищений ступінь виникнення ерозійних процесів, а не визначити кількість змитого ґрунту.

**Мета статті.** Відображення факторів впливу на ідентифікацію ерозійно-небезпечних ділянок території, що задіяні в сільському господарстві на основі методу зваженого лінійного комбінування.

**Виклад основного матеріалу.** Використання в управлінні земельними ресурсами методів математичної статистики дає можливість швидше отримати результати та поглибити аналіз даних у плануванні та прогнозуванні використання земельних ресурсів. Складність і різноманітність зв'язків та факторів у системі сільськогосподарського виробництва вимагають застосування методу багатофакторного аналізу.

Цей метод дозволяє виявити об'єктивно існуючі, але явно не виражені залежності які проявляються в тих чи інших явищах, та оцінити вплив кожного фактора на загальний результат.

При геопросторовому моделюванні існує певна логіка вирішення задачі з багатофакторного аналізу, а саме:

1. Постановка завдання і мети
2. Вивчення вхідних наборів даних, оцінювання їх ваги та визначення параметрів впливу на об'єкт дослідження
3. Виявлення зв'язків між факторами
4. Виконання аналізу
5. Перевірка результатів дослідження

Нами запропоновано метод визначення ерозійно-небезпечних територій, який ґрунтується на визначенні впливу кожного фактора та загальній оцінці цього впливу на утворення ерозії. В попередніх

дослідженнях на основі методу аналізу ієрархій було визначено сім факторів, які мають найбільший вплив на утворення ерозії, до яких належать: крутизна схилів (0,26), площа водозборів (0,09), тип водозбору (0,17), потужність гумусового горизонту (0,07), гранулометричний склад (0,07), інтенсивність опадів (0,14) та ґрунтозахисна роль рослинності (0,20).

Перед початком аналізу кожен фактор необхідно звести до одного неперервного масштабу впливу, який виражається шкалою від 0 до 255. Всі фактори поділяють на дискретні та неперервні. В першому випадку необхідно кожному класу об'єктів призначити ступінь ерозійної небезпеки. Для неперервних зображень необхідно визначити залежність утворення ерозії від фактору у вигляді рівняння. Таке зведення факторів, які мають різні одиниці вимірювання, дозволяє порівняти та об'єднати їх.

*Фактор крутизни схилів.* Фактор крутизни схилів впливає на швидкість поверхневого стоку. Поки потік не досяг розмиваючої швидкості, небезпека утворення ерозії відсутня. При визначенні ухилу для кожної комірки обчислюється максимальний ступінь зміни значення висоти між нею та сусідніми комірками. Значення ухилу обчислюється на основі методу усередненого максимуму. Чим нижче значення ухилу, тим більш плоскою є земна поверхня; чим вище значення ухилу, тим більш крутими є схили, розташовані на поверхні.

Щоб стандартизувати цей фактор, розглянемо залежність прояву ерозії від крутизни схилів (рис. 1). На графіку показано, що при крутизні схилів більше за  $11^\circ$  землі завжди змиті, а отже, небезпека утворення ерозії найвища. Значення менші за  $11^\circ$  мають залежність у вигляді неперервно-спадаючої лінії, яка ніколи не досягає значення нуля. Цей фактор є неперервним і передбачає використання стандартних зважених значень від 0 до 255. Його функція має вигляд стандартної кривої у вигляді літери J (J-shaped) (рис. 3, а).

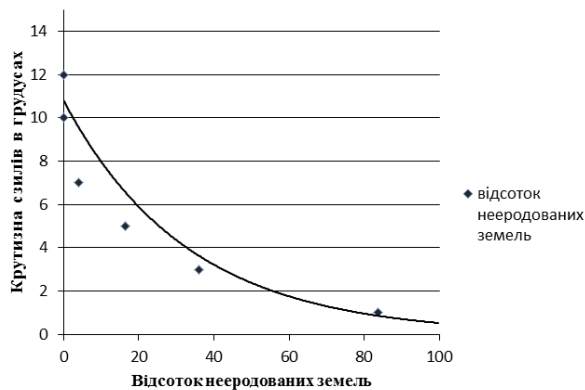


Рис. 1. Залежність прояву ерозійних процесів від значення крутизни схилів [12]

**Фактор площі водозбору.** Фактор площі водозбору впливає на об'єм потоку води. Для його адекватного представлення було використано дані сумарного стоку води, які знаходяться, як сума значень накопичення опадів всіх комірок, що стікають в клітинку, розташовану вниз по схилу. Комірки з високим сумарним стоком – це ділянки концентрованого стоку, які найбільш схильні до змиву ґрунту. Функція, яка найкраще опише вплив площі водозбору на утворення ерозії, буде зростаючою кривою у вигляді сигми (рис. 2).

Площа водозбору перетворена до діапазону придатності, де мінімальне значення фактора площі водозбору буде мати найменшу придатність (0) і досягатиме найбільшого значення 255 при площі водозбору 12000 м<sup>2</sup> (рис. 3, б).

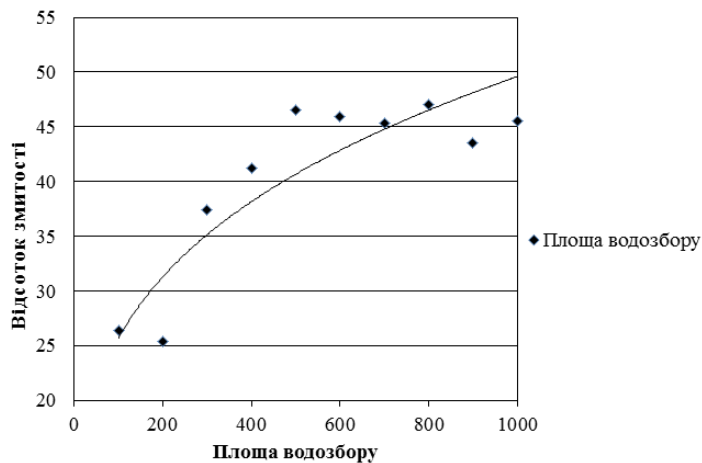


Рис. 2. Залежність прояву ерозійних процесів від площі водозбору [13]

**Фактор типу водозбору.** Кожен тип схилу являє собою певний водозбір з певною мірою ерозійної небезпеки. Виходячи з цих міркувань, М.К. Шикун та М.І. Лопирев розробили класифікацію форм схилів. З усіх прийнятих у класифікації геоморфологічних ознак для протиерозійної організації території, найважливішою є форма поперечного профілю схилу, що визначає розосередженість чи концентрацію стоку. Послідовність розміщення підрозділів класифікації не збігається з послідовністю розташування схилів за мірою ерозійної небезпеки [14].

Знаючи відносну небезпеку кожної категорії, типи схилів можна перекласифікувати до діапазону значень від 0 до 255, щоб знайти їх потенційну небезпеку до утворення ерозії (рис. 3, в).

**Фактор вмісту гумусу.** Стійкість різних ґрунтів до прояву ерозії можна показати вмістом гумусу. Зі зменшенням гумусу зменшується

протиерозійна стійкість ґрунту, тому залежністю буде проста спадаюча лінія (рис. 3, г).

*Фактор гранулометричного складу.* Гранулометричний склад ґрунтів впливає на можливість агрегування ґрунту і його водопроникність. Чим важчий ґрунт за гранулометричним складом, тим нижча водопроникність, а це зумовлює накопичення на схилах маси стоку та збільшення його руйнівної та трансформувальної сили. Здатність ґрунтів до агрегування має зворотну закономірність. Чим важчий ґрунт, тим більше в ньому мінеральних колоїдів і тим вища при наявності органічних колоїдів здатність ґрунту до агрегування, що і підвищує водопроникність та послаблює ерозію. Проте добру фільтраційну здатність мають лише ті ґрунти, що містять багато водотривких агрегатів, які не розпадаються під час дощу.

За даними інституту Землеробства УААН були проведені дослідження, які показали залежність піддатливості ґрунту до ерозії від гранулометричного складу [12]. Гранулометричний склад має дискретний характер прояву. Знаючи відносну небезпеку утворення ерозії, ми розрахували нові значення ерозійної небезпеки (рис. 3, д).

*Фактор інтенсивності опадів.* Одним з вирішальних факторів утворення ерозії є інтенсивність опадів. Багаточисленні дослідження показали великий вплив інтенсивності випадання опадів на змив ґрунту. Шар та інтенсивність дощових опадів входить в ерозійний індекс опадів, який використовується в США та багатьох інших країнах світу. Ерозійний індекс опадів – показник, що враховує кінетичну енергію дощових опадів за визначений період максимальною інтенсивністю їх випадання. Цей період майже завжди приймається за 30 хвилин [12].

На рис. 3, е, показано розподіл середньорічного ерозійного індексу дощових опадів при максимальній 30-хвилинній інтенсивності. Оцінюючи ерозійну небезпеку дощових опадів, необхідно зазначити, що вплив буде відповідати графіку прямої зростаючої лінії.

*Фактор захисту від рослинності.* Характер рослинного покриву істотно впливає на процеси ерозії. До біологічних чинників ерозії відносять здатність рослин та їх відмерлих решток протидіяти руйнівній дії води на ґрунт. Чим густіші посіви і більша біомаса врожаю, тим вища ґрунтозахисна ефективність сільськогосподарських культур. О.П. Вервейко розрахував коефіцієнти ерозійної небезпеки культур у порівнянні з чорним паром, на основі яких було визначено коефіцієнт ерозійної небезпеки (рис. 3, є) [14].

Для поліпшення розуміння процесу утворення ерозії і визначення впливу кожного фактора побудована схема залежності факторів на утворення ерозії (рис. 4).

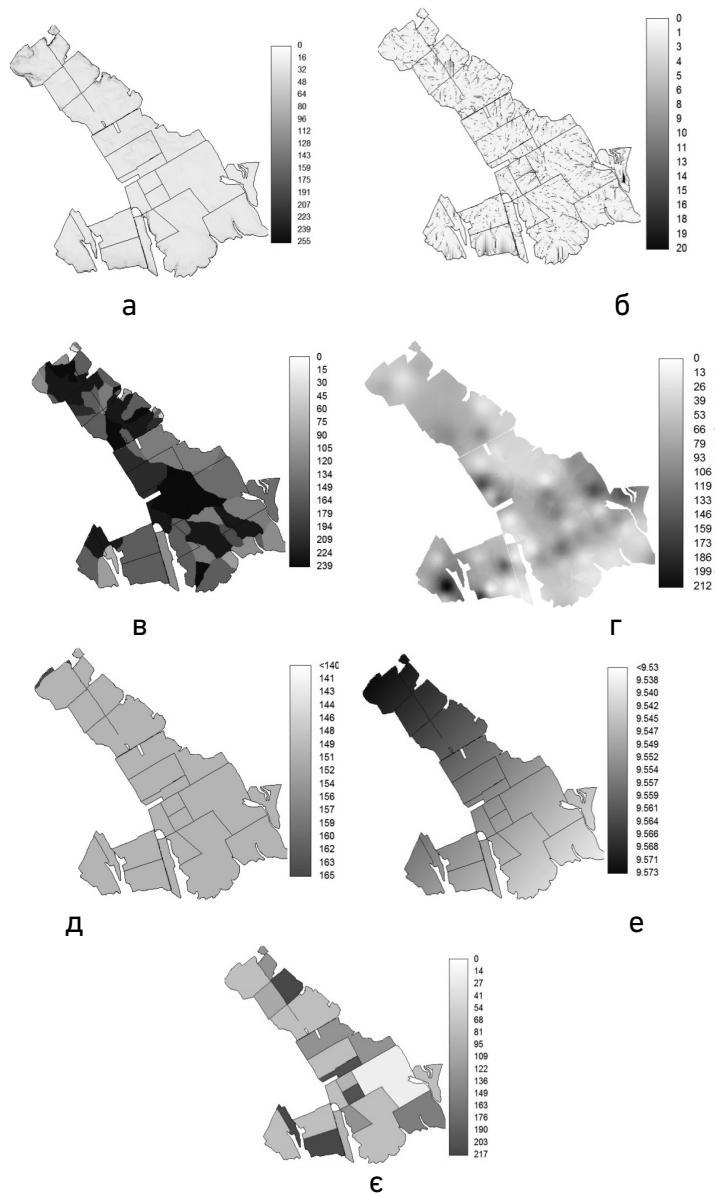


Рис. 3. Картограми факторів стандартизованих за мірою зростання ерозійної небезпеки від 0 до 225 (а – крутизни схилів; б – площа водозбору; в – форми схилів; г – вміст гумусу; д – гранулометричний склад ґрунту; е – розподілу середньорічного ерозійного індексу дощових опадів; є – розміщення сільськогосподарських культур)

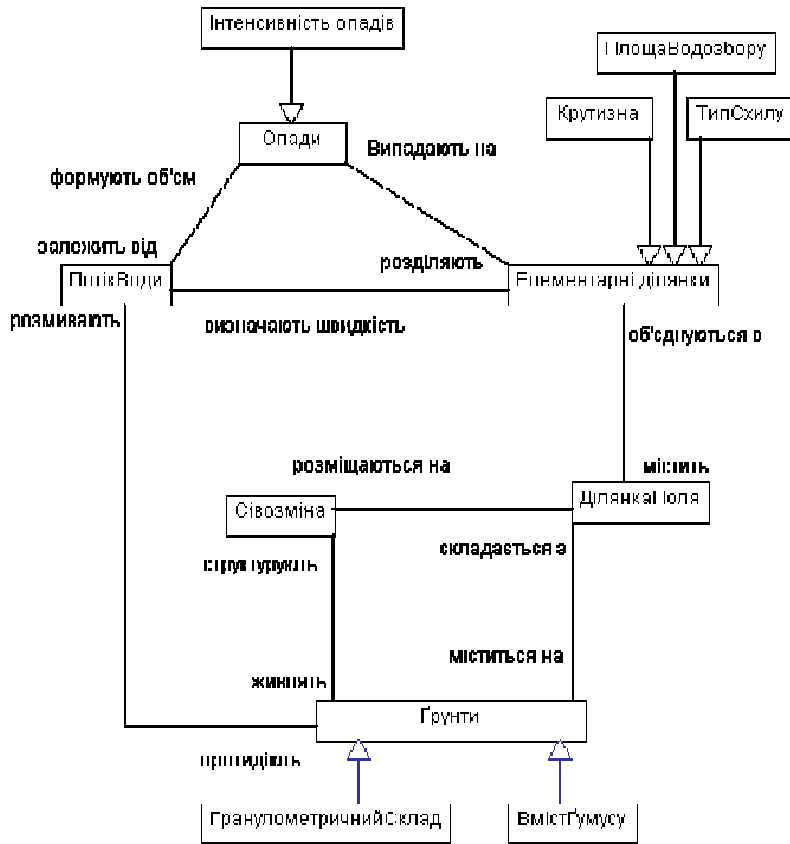


Рис. 4. Схема залежності факторів на утворення ерозії

Для отримання результуючого зображення ерозійної небезпеки було використано метод зваженого лінійного комбінування (рис. 5), який полягає в поступовому об'єднанні растрових зображень, які були стандартизовані до спільної шкали оцінювання ерозійної небезпеки.

Оскільки перелік факторів перед початком аналізу стандартизується і має спільний діапазон значень, то й результуюче зображення буде мати такий діапазон значень. Для вилучення територій, які не підлягають просторовому аналізу або мають обмеження (в нашому випадку контур полів), накладається маска обмежень для видалення непотрібних територій.



Рис. 5. Картограма ерозійної небезпеки

### Висновок.

В дослідженні відображено результати моделювання прояву ерозійних процесів на основі зваженого лінійного комбінування з урахуванням факторів попередньо виділених на основі методу аналізу ієрархій. Запропонований підхід до визначення потенційної небезпеки розвитку ерозії дозволить за наявності малої кількості даних оцінити територію на ерозійну небезпеку та сформувану правильну стратегію використання земельних угідь на довгострокову перспективу.

**1.** Розробка наукових основ моніторингу земель і методів його ведення. Розробка науково-методичних основ районування і картографування стану земельних ресурсів за показниками моніторингу земель. Розробка критеріїв оцінки стану земельного фонду, нормативи кризових ситуацій, параметри стійкості земельних ресурсів: звед. звіт по НДР 1/94 1995; Наук.-вир. центр по сільськогосп. технол. та агроекології / кер. В. В. Медведєв; викон.: С. Ю. Булигін [та ін.]. – Х., 1995. – 95 с. **2.** Тараріко О. Г. Каталог заходів з оптимізації структури агроландшафтів та захисту земель від ерозії / О. Г. Тараріко, В. М. Москаленко. – К. : Фітосоціоцентр, 2002. – 60 с. **3.** Светличный А. А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва почв / А. А. Светличный // Почвоведение. – № 8. – 1999. – С. 1015-1023. **4.** Швевс Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка / Г. И. Швевс. – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 184 с. **5.** П'яткова А. В. Просторове моделювання водної ерозії ґрунту як основа наукового обґрунтування раціональ-



ного використання ерозійно-небезпечних земель [Текст] : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.11 / А. В. П'яткова; Одеський державний екологічний університет. – Одеса, 2011. – 20 с. **6.** Проблема верифікації просторово-розподілених математических моделей водної ерозії почв [Текст] / А. А. Светличний, А. В. Пяткова, С. В. Плотницький, В. Н. Голосов, А. П. Жидкин // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. – 2013. – Том 18. – Вип. 3. – С. 38–48. **7.** Пяткова А. В. Проблеми кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту / А. В. Пяткова // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. – 2014. – Т. 19, Вип. 4. – С. 28–37. **8.** Ачасов А. Б. Картографічне забезпечення процесу математичного моделювання водної ерозії / А. Б. Ачасов, Р. В. Куришко // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. – № 3-4. – С. 13–17. **9.** Верифікація WEPP-моделі ерозії ґрунтів / Булигін С. Ю., Ачасов А. Б., Терновий Р. В., Котова М. М., Тімченко Д. О. // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 2. – С. 54–56. **10.** Москаленко А. А. Геоінформаційне забезпечення оцінювання стану земельних ресурсів / А. А. Москаленко // Вісник геодезії та картографії. – 2012. – № 3. – С. 38–46. **11.** Kokhan S. GIS Mapping for Soil Quality Evaluation / S. Kokhan, A. Moskalenko, I. Shkvir // The 2nd International Virtual Conference. – 2013. – С. 287–291. **12.** Кривов В. М. Екологічно безпечне землекористування лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів / В. М. Кривов. – К. : Урожай, 2006. – 304 с. **13.** Джамаль В. А. Захист ґрунтів від ерозії / В. А. Джамаль, М. М. Шелякін, В. О. Білолипський; за ред.: В. А. Джамала, М. М. Шелякіна. – К. : Урожай, 1986. – 240 с. **14.** Охорона ґрунтів : навч. посібник / М. К. Шидула [та ін.]. – К. : Знання, 2001. – 398 с.

Рецензент: д.т.н., доцент Кохан С. С. (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

---

**Shkvyr I. M., Assistant** (National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine)

## **MODELING OF WATER EROSION ON SOIL**

**The results of the study on the evaluation area due to display of water erosion. The factors that are based on previous studies have the greatest influence on the formation of water erosion. An example of standardizing disparate factors to a common measurement scale and on the basis of weighted linear combination obtained erosion potential cartogram of the territory.**

**Keywords:** multicriteria analysis, factor dependence.

---

**Шквир И. М., ассистент** (Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ НА ГРУНТЫ**

**Приведены результаты исследования по оценке территории на счет проявления водной эрозии. Рассмотрены факторы, которые на основе предыдущих исследований, имеют наибольшее влияние на образование водной эрозии. Приведен пример стандартизации разрозненных факторов к общей шкале измерения и на основе метода взвешенного линейного комбинирования получено картограмму эрозионного потенциала территории.**

***Ключевые слова:* многокритериальный анализ, фактор, зависимость.**

---