

ПРО СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ВТРАТ ҐРУНТУ (USLE)

© М.В. Куценко, О.В. Круглов, 2010

*Національний науковий центр “Інститут агрохімії та ґрунтознавства ім. О.Н. Соколовського”,
Харків, Україна*

The computer technology AREAUS has been created in purpose to make an effective calculation of variable data of the universal soil loss equation (USLE). For the identification of conformation parameters a new structural digital model of relief (SDMR) with the hierarchical information cells system has been proposed. Differential in an area and generalized results were applied in electronic map legend as a prediction of soil loss for the area of 400 ha.

Keywords: soils, models of erosion, geoinformation support.

Постановка проблеми. Сучасна технологія охорони земель від ерозії передбачає, між іншим, всебічне використання математичних моделей змиву. Серед великого їх розмаїття особливе місце займає універсальне рівняння втрат ґрунту (USLE), яке залишається базовим національним стандартом для прогнозу ерозії в Німеччині, Бельгії, Італії, Чехії та інших країнах ЄС. Наявний стан системи охорони земель від ерозії потребує розробки комп'ютерної технології, здатної адекватно забезпечити USLE інформацією для ефективного вирішення практичних завдань оптимальної охорони ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз моделей ерозії наведено в роботах М.С. Кузнецова, О.Г. Рожкова, Г.П. Глазунова [1], О.О. Світличного, С.Г. Чорного, Г.І. Швєбса [2, 3]. Найчастіше використовують універсальне рівняння втрат ґрунтів USLE та детальніший варіант цієї моделі, відомий під назвою RUSLE [3–7]. Для прогнозу ерозії за цим рівнянням розраховують середнє за характерними профілями рельєфу змиву. Багато сучасних наукових робіт присвячено вдосконаленню USLE та його інтеграції в сучасні ГІС-технології [8–11]. При цьому певну увагу приділяють докладнішому врахуванню параметрів рельєфу. Так, прагнучи обчислити просторову диференціацію стоку, Г.А. Ларіонов зі співавторами [12] ввели коефіцієнти конвергентності та дивергентності. З огляду на мінливість уклонів на схилах, у чинному Держстандарті [13] запропоновано ділити схили на 5 відрізків однакової довжини і в подальшому враховувати коефіцієнти для уточнення прогнозування модулів змиву. Через значну мінливість параметрів рельєфу головною проблемою підвищення точності прогнозу ерозії залишається обґрунтоване обчислення не лише уклонів і довжини схилів, а й поверхневої диференціації стоку.

Постановка завдання. Метою роботи є створення адекватної до сучасних вимог землекористування системи геоінформаційного забезпечення універсального рівняння втрат ґрунту для ефективного практичного його застосування в просторовій оптимізації охорони ґрунтів від ерозії.

Виклад основного матеріалу. В лабораторії охорони ґрунтів від ерозії ННЦ “Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського” розроблено комп'ютерну технологію (у подальшому AREAUS), яка дає змогу швидко і адекватно розраховувати втрати ґрунту на рівні деталізації внутрішньогосподарського землеустрою.

Модель USLE має такий загальний вигляд:

$$A = RKLSCP, \quad (1)$$

де A – модуль змиву ґрунту, т/га рік; множниками є фактори: R – ерозійної властивості дощів; K – піддатливості ґрунтів ерозії, т/га рік; L – довжини схилу; S – крутості схилу; C – рослинності та сівозміни; P – ефективності протиерозійних заходів.

У технології AREAUS ерозійні параметри (рельєфу, ґрунтів, полів сівозмін, протиерозійних меж, доріг) вводять як окремі шари інформації до програми Mapinfo та зберігають у числовому форматі MIF- і MID-файлів. Фактор R у рівнянні (1) на локальному рівні деталізації є константою, яку визначають по карті [3, 14]. Принцип ідентифікації просторово-дискретних факторів K , C , P полягає у такому. У програмі Mapinfo креслять відповідні шари полігонів ґрунтів, полів сівозмін і протиерозійних заходів. Кожному полігону приписують відповідні значення K , C , P у таблицях відповідних TAB-файлів.

Особливу роль у створенні такої системи відіграє кількісне наповнення значень коефіцієнтів USLE, що саме по собі є предметом окремого дослідження. Для досягнення поставле-

ної мети було використано типові для певного регіону значення без урахування додаткових уточнень локального просторового рівня деталізації (особливості розподілу фракцій гранулометричного складу та вмісту гумусу серед елементів агроландшафту та ін.).

Величини факторів R і K визначено за методикою, викладеною у праці М.М. Заславського [14]. Для ґрунтів чорноземного генезису значення фактора K лежать у межах 0,84–1,85 т/га. На основі аналізу даних щодо фізичних властивостей ґрунту (у цьому разі чорнозему звичайного середньосуглинкового) [15] обґрунтоване значення K дорівнює 1,5 т/га. Значення фактора R отримано за допомогою картограми ерозійного індексу (обчисленої за 30-хвилинної максимальної інтенсивності). Ці значення відрізняються від напрацьованих європейських та американських дослідників [4–6, 8], проте мають відповідне обґрунтування, їх широко використовують сучасні вітчизняні ерозієзнавці [3]. Значення факторів L , S , C розраховано, згідно з ГОСТ 17.4.03–86 та методикою, викладеною у працях [6, 16]. Значення фактора C , прийняте нами для розрахунків, дорівнює 0,24, що відповідає фону зі стерні зернових культур. Для фактора P взято значення 0,6 [13], яке є типовим для проведення основного обробітку ґрунту впоперек схилів.

Просторова ідентифікація цих факторів полягає в автоматичному визначенні належності будь-якої довільної точки до певного полігона з відповідною атрибутивною інформацією. Ми розробили алгоритм такої ідентифікації для полігонів будь-якої складності. З метою ефективного визначення параметрів рельєфу розроблено структурну цифрову модель рельєфу (СЦМР), що дає змогу швидко та ефективно визначати різні характеристики рельєфу. Географічна інформація про рельєф зберігається у вигляді координат точок підпорядкованих полігонів 3 ієрархічних рівнів. Така ієрархічна мережа будується автоматично на основі ліній стоку, введених у програму MapInfo за певними правилами. 1-й її рівень – ділянки водозбірних басейнів (ДВБ), кількість яких

залежить від складності рельєфу та розміщення ділянок досліджуваної території; 2-й – ділянки схилів між сусідніми лініями стоку, тобто елементарні схили (ЕС) у межах полігонів 1-го рівня; 3-й рівень – елементарні інформаційні чарунки (ЕІЧ), що являють собою чотирикутники, вершинами яких є точки перетинання сусідніх ліній стоку з горизонталями.

За допомогою комп'ютерного модуля IMPORT.EXE географічна та атрибутивна інформація MIF- і MID-файлів перетворюється у файли TXT-формату. Модуль NETWORK.EXE перетворює інформацію про лінії стоку в структурну інформаційну мережу та зберігає СЦМР у вигляді TXT-файлів, назви яких є кластерами з чисел – порядкових номерів відповідних структурних елементів. Наприклад, на рис. 1 чарунка 5_2_1 – це п'ята ЕІЧ у межах другої вузлової точки (ВТ) та першої ДВБ. Ідентифікацію довільної точки на рельєфі виконують у послідовності ДВБ–ЕС–ЕІЧ. Остаточну ідентифікацію точки з визначенням її висоти та лінії стоку від неї до вододілу здійснюють за принципом променя. Якщо відрізки ліній стоку ЕІЧ не паралельні, то розв'язанням системи рівнянь прямих, що їх описують, визначають координати точки їх перетинання ("фокус променя"); якщо відрізки паралельні, то складають рівняння лінії стоку через точку у вигляді $x = \text{const}$. Потім визначають відрізок лінії стоку, що проходить через точку в межах ЕІЧ, складанням та розв'язанням відповідних рівнянь прямих. Визначене у такий спосіб положення лінії стоку, що проходить через точку в межах певної ЕІЧ, інтерполюють до вододілу за принципом пропорційності відстаней від точок перетинання відрізка лінії стоку з межами ЕІЧ до боків ЕІЧ. Такий структурно-сфокусований принцип ідентифікації рельєфу дав змогу створити безперервне інформаційне поле швидкого автоматичного визначення факторів рельєфу LS у моделі USLE з урахуванням просторової диференціації поверхневого стоку.

За допомогою комп'ютерного модуля AREAUS.EXE автоматично визначають мережу елементарних схилів (рис. 2) з наперед заданою

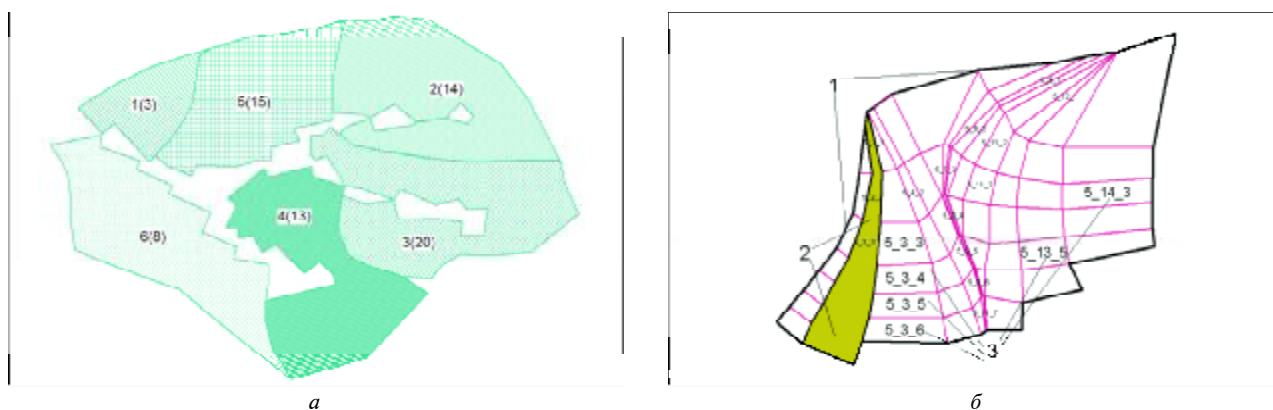


Рис. 1. Інформаційна мережа структурної цифрової моделі рельєфу: a – ділянки водозбірних басейнів; b – ієрархічні рівні мережі: 1 – ділянка водозбору; 2 – елементарні схили; 3 – елементарні інформаційні чарунки

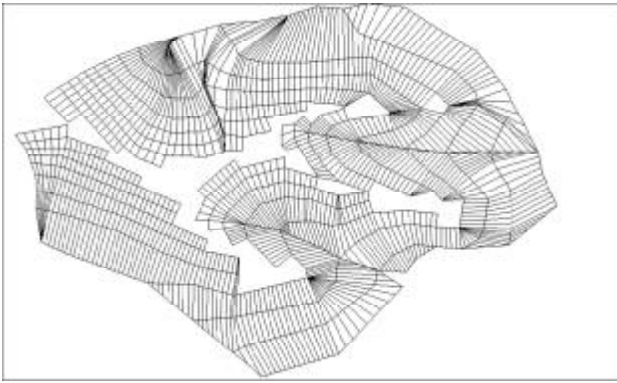


Рис. 2. Інформаційна мережа елементарних схилів для USLE

шириною підніжжя кожного елементарного схилу за формулами

$$n_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j+1} b_i}{(m_j+1)d}; \quad l_j = \frac{b_m}{n_j}, \quad (2)$$

де n_j – кількість однакових відрізків для j -го ЕС; b_i – ширина ЕС у межах відповідних ЕІЧ; m_j – кількість ЕІЧ в межах j -го ЕС; d – вибраний крок мережі; l_j – ширина підніжжя j -го ЕС; b_m – ширина нижнього відрізка (базису) ЕС.

З метою детального врахування уклонів цю мережу автоматично ділять на 5 рівновеликих за довжиною ділянок – за вимогами Держстандарту [13]. Оскільки навіть елементарні схили часто мають складну форму і лінії стоку, що їх обмежують, не є паралельними, виникає питання щодо визначення довжини схилу та окремих його відрізків однакової довжини.

Довжину схилів визначено за формулою

$$L_j = \sum_{i=1}^m \frac{F_i}{b_i}, \quad (3)$$

де L_j – довжина j -го ЕС; F_i – площа; b_i – ширина нижнього боку i -ї ЕІЧ; m_j – кількість ЕІЧ у межах j -го ЕС.

Зважаючи на те що довжина схилу поряд з його уклоном характеризує енергетичні можливості водних потоків, неважко переконатись у правильності формули для рельєфу будь-якої складності (3). Ця формула враховує просторову диференціацію поверхневого стоку на рельєфі. Тому для ділянок схилів, де лінії стоку зверху вниз збігаються, рівновеликі за формулою (3) відрізки мають значно більші лінійні розміри завдовжки у верхній частині, ніж у середній і тим більш у нижній (рис. 3). Такі ділянки є рівноцінними за “енергетичним тиском” водних потоків на одиницю ширини їх нижніх частин. Для розрахунку взаємного впливу факторів LC використано формулу Держстандарту [13]:

$$LC = L^{0.5}(0,0011S^2 + 0,0078S + 0,0111). \quad (4)$$

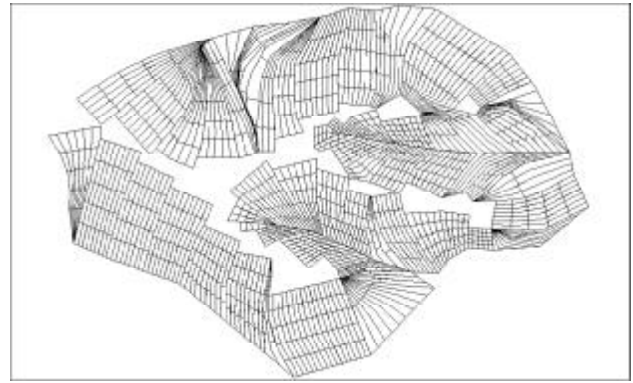


Рис. 3. Рівновеликі за довжиною відрізки елементарних схилів для інформаційного забезпечення USLE

Для обчислення модулів змиву ґрунту за формулою (1) використано як множники поправкові коефіцієнти для рівновеликих відрізків схилів модуля А (5 відрізків за L):

Порядковий номер відрізка від вододілу до базису схилу	Значення
1	0,45
2	0,82
3	1,06
4	1,25
5	1,42

Модуль AREAS.EXE розраховує зазначені вище інформаційні мережі, модуль змиву за формулами (1)–(4) з максимальним урахуванням просторової диференціації водного стоку, а також легенду до карти-схеми. У легенді узагальнюють категорії земель за багаторічним модулем змиву, а також указують середнє значення модуля змиву для всієї території дослідження і середнє квадратичне відхилення. Автоматично здійснюють компонування карти-схеми та легенди, тобто легенду подають як окремий шар географічної інформації, який автоматично прив’язаний до проекції карти-схеми. Місце оптимального розташування легенди відносно карти визначають автоматично. Карту-схему модулів змиву ґрунту та легенду зберігають у числовому форматі MIF- і MID-файлів. У програмі MapInfo їх перетворюють у TAB-файли за допомогою команди Import з меню Table. За допомогою команди Universal Translator з меню Tools ці файли можна перетворити у файли ArcInfo, AutoCAD, Intergraf та ін.

Зазвичай результати розрахунків модулів змиву узагальнюють для схилів. Технологію AREAS призначено, насамперед для оптимізації протирозійних заходів у просторі, тобто вона спрямована на точну охорону земель від ерозії. Тому модулі змиву, що розраховані для мережі з 5 ділянок, для кожного елементарного схилу не узагальнювали. В результаті розраховано карту-схему модуля змиву ґрунту (рис. 4). Як видно з рисунку, результат прогнозування змиву з ураху-

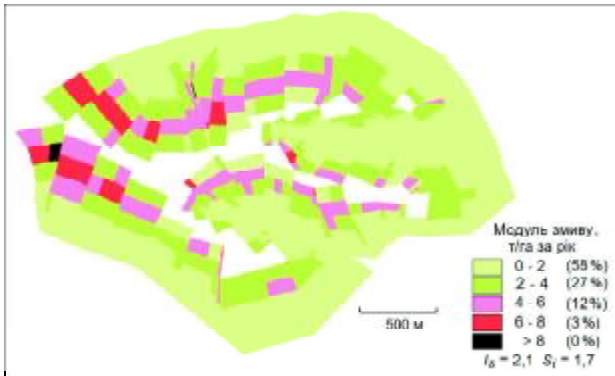


Рис. 4. Результат прогнозування модуля змиву ґрунту за технологією AREAUS

ванням диференціації параметрів моделі USLE у просторі виявляється не тривіальним. Зазвичай моделі змиву дають закономірне збільшення модулів змиву від вододілів до підніжжя схилів. У цьому випадку це не так. У цілому очікується збільшення змиву приблизно до нижньої третини схилів і його зменшення у підніжжя, що пов'язане частково зі зменшенням уклонів, а подекуди із розосередженням стоку. Простежено також певну диференціацію змиву у поперечному відносно схилів напрямку, що пояснюється особливостями рельєфу. Польові дослідження підтверджують такі тенденції.

Висновки за результатами дослідження і перспективи подальших розвідок.

1. Для підвищення ефективності врахування параметрів рельєфу у моделях ерозії розроблено структурно-сфокусований принцип ідентифікації рельєфу, в основу якого покладено дискретну ієрархічну мережу, яка створюється на основі ліній стоку.
2. Розроблено ГІС-технологію AREAUS, що забезпечує диференційоване прогнозування змиву ґрунту на основі 2-вимірної моделі, яка враховує просторові особливості рельєфу.
3. Доведено високу ефективність технології AREAUS. Швидкість розрахунків дорівнює 3300 ділянок за 1 с. Час розрахунку модулів змиву на площі 400 га з характерним кроком ширини елементарних схилів 10 м становив менше 2 с.
4. Диференційована оцінка модулів змиву і одночасне її узагальнення у подальшому дають змогу розробити ефективну автоматизовану систему оптимізації протиерозійних заходів на локальному просторовому рівні.
5. У подальшому планується доопрацювання технології AREAUS з метою складання реальних сценаріїв землеробства в різних природно-сільськогосподарських зонах та автоматизованого вибору оптимального з них, зокрема,

параметричне врахування конкретних протиерозійних заходів та оптимізація їхнього просторового розташування в межах конкретних сільськогосподарських полів.

1. Кузнецов М.С., Рожков А.Г., Глазунов Г.П. Современное состояние и перспективы развития исследований по защите почв от эрозии в России // Почвоведение. – 1994. – № 5. – С. 67–70.
2. Светличный А.А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва // Там же. – 1999. – № 8. – С. 1015–1023.
3. Светличный А.А., Черный С.Г., Швец Г.И. Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты. – Сумы: Университет. книга, 2004. – 410 с.
4. A. J.J. Van Rompaey, P. Bazzoffi, R. J.A. Jones et al. Validation of Soil Erosion Risk Assessments in Italy // European Soil Bureau Research Report N 12, EUR 20676 EN. – Luxembourg: Office for office. publ. of the Eur. Communities, 2003. – 25 p.
5. Toth G., Montanarella L., Russo E. Treats to soil quality in Europe. – Luxembourg: Office for office. publ. of the Eur. communities, 2008. – 151 p.
6. Toy T., Foster G. Guidelines for the use of the RUSLE version 1.06 on mined lands, construction sites and reclaimed lands. – Denver, 1998. – 148 p.
7. Сухановский Ю.П., Олеш Г., Хан К.Ю. и др. Применимость универсального уравнения потерь почв от эрозии (USLE) для условий европейской территории России // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 733–739.
8. Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. Soil erosion risk assessment in Europe. –Eur. Soil Bureau, 2000. – 34 p.
9. Черваньов І.Г., Костріков С.В., Воробійов Б.Н. Флювіальні геоморфосистеми: дослідження й розробки харківської геоморфологічної школи. – Харків: Вид-во Харк. нац. ун-ту, 2006. – 322 с.
10. Ekinci D. Estimating of Soil Erosion in Laca Durusu basin using RUSLE 3d with Gis. – Istanbul: Cantau, 2007. – 187 p.
11. Ларионов Г.А., Бушуева О.Г., Добровольская Н.Г. и др. Определение гидрофизических параметров почвы в модели эрозии // Почвоведение. – 2010. – № 4. – С. 488–494.
12. Ларионов Г.А., Добровольская Н.Г., Краснов С.Ф., Лю Б.Ю. Новое уравнение фактора рельефа для статистических моделей водной эрозии // Там же. – 2003. – № 10. – С. 1239–1247.
13. ГОСТ 17.4.03–86. Охрана природы. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей.
14. Заславский М.Н. Эрозиоведение. – М.: Высш. шк., 1983. – 320 с.
15. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т.1. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты / Под ред. Н.И. Полулана. – Киев: Урожай, 1988. – 296 с.
16. Эрозия почвы / Под ред. М.Киркби и Р.Моргана. – М.: Колос, 1984. – 415 с.

Надійшла до редакції 04.08.2010 р.

М.В. Куценко, О.В. Круглов

ПРО СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ВТРАТ ҐРУНТУ (USLE)

Розроблено комп'ютерну технологію AREAUS, що дає змогу ефективно враховувати мінливі у просторі параметри універсального рівняння втрат ґрунту. Для ідентифікації параметрів рельєфу запропоновано нову структурну цифрову модель рельєфу з ієрархічною системою інформаційних чарунок. Одержано результати диференційованого у просторі та узагальненого у легенді електронної карти прогнозування модулів змиву ґрунту на площі 400 га.

Ключові слова: ґрунти, моделі ерозії, геоінформаційне забезпечення.

Н.В. Куценко, А.В. Круглов

О СОЗДАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПОТЕРЬ ПОЧВЫ (USLE)

Разработана компьютерная технология AREAUS, которая позволяет эффективно учитывать изменяющиеся в пространстве параметры универсального уравнения потерь почвы. Для идентификации параметров рельефа предложена новая структурная цифровая модель рельефа с иерархической системой информационных ячеек. Получены результаты дифференцированного в пространстве и обобщенного в легенде электронной карты прогнозирования модулей смыва почвы на площади 400 га.

Ключевые слова: почвы, модели эрозии, геоинформационное обеспечение.