

УДК 551.3.053

О. О. Світличний, д-р геогр. наук, проф.,**А. В. Іванова**, асп.Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,
кафедра фізичної географії і природокористування,
Шампанський пров., 2, Одеса, 65026, Україна**ПРИНЦИПИ ПРОСТОРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗЛИВОВОГО ЗМИВУ ҐРУНТУ**

Представлені результати розробки та ГІС-реалізації моделі просторового розподілення норми гідрометеорологічного фактору зливого змиву ґрунту на основі цифрової моделі рельєфу та ґрунтової карти. Модель враховує експозицію, крутизну, форму схилів, а також основні водно-фізичні характеристики верхнього півметрового шару ґрунтів - найменшу вологосмість та максимальну гігроскопічність. ГІС-реалізація моделі виконана з використанням аналітичних та мовних можливостей пакету PCRaster (Нідерланди). Наведені результати використання моделі для ділянки оранки розмірами 0,9х 0,9 км, розташованій у Белградському районі Одеської області.

Ключові слова: гідрометеорологічний фактор зливого змиву ґрунту, просторовий розподіл, математичне моделювання, ГІС.

Під час моделювання, розрахунків або прогнозі зливого змиву ґрунту кліматичні, точніше, гідрометеорологічні умови зазвичай приймаються незмінними по довжині та ширині схилу. Таке припущення було доречним у межах моделей із зосередженими параметрами. Але ж у рамках профільних моделей, які враховують зміну з довжиною схилу його ухилу, протиерозійних якостей ґрунту і агротехніки, приймання незмінним з довжиною схилу гідрометеорологічних умов змиву не має достатньої коректності. Тим більше — під час просторового (двохмірного) моделювання процесу, всі фактори якого значно варіюють у просторі.

У відповідності з [6, 4] гідрометеорологічний фактор зливого змиву ґрунту *у скороченій формі можна записати у вигляді формули:

$$K_{\text{ГМ}} = \sum_{j=r}^N \left(1 + 17,0A \frac{\Delta x_j}{\Delta t_j} \right) (i_j - i_{\text{CTJ}})^{2,7} \Delta t_j, \quad (1)$$

де $K_{\text{ГМ}}$ — гідрометеорологічний фактор зливого змиву ґрунту для конкретної зливи, т/га; Δx — шар опадів у мм протягом часу Δt , для якого виконана умова $i_i > i_{\text{CTJ}}$, (i — фактична інтенсивність зливи протягом 7-го інтервалу часу, мм/хв., а i_{CT} — змивоутворююча інтенсивність зливи на початок цього інтервалу часу, мм/хв.); N — кількість розрахункових інтервалів дощу, для яких $i_i > i_{\text{CTJ}}$; A — коефіцієнт,

який враховує захисні впливи рослинності, коли рослинність відсутня, $A = 1$.

Значення змивоутворюючої інтенсивності зливи розраховується за формулою:

$$i_{CTJ} = 0,08 + 5,92 \exp \left[-0,151 \left(B_0 + \sum_{j=1}^N \Delta x_0 \right) \right], \quad (2)$$

де $\sum_{j=1}^N \Delta x_0$ — сума опадів від початку зливи до розрахункового інтервалу,

мм; B_0 — індекс попереднього зволоження Н. Ф. Бефані [1] на початок дощу.

Аналіз виразів (1)-(2) показує, що якщо вважати, що характеристики зливи у межах схилу не змінюються, просторові варіації $K_{ГМ}$ повністю визначаються змінами вологості верхнього шару ґрунту, яка у формулі (2) характеризується індексом попереднього зволоження B_0 . Вирішення задачі врахування просторової зміни гідрометеорологічного фактору зливогого змиву, таким чином, потребує, по-перше, встановлення залежності між нормою $K_{ГМ}$ та ґрунтовою вологою i , по-друге, моделювання просторового розподілення вологості верхнього шару ґрунту у межах схилу або невеликого водозбору.

Для вирішення першої задачі використані результати розрахунків норми гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту з різними значеннями індексу попереднього зволоження, виконаних раніше [3], з використанням даних спостережень на метеостанціях Болград та Вознесенськ протягом 1949-1989 років. Для отримання загальної кривої, яка відображає зв'язок гідрометеорологічного фактору та індексу попереднього зволоження, значення норми $K_{ГМ}$ для окремих метеостанцій нормовані з використанням зональних норм гідрометеорологічного фактору ($K_{ГМЗ}$) [3, 4]. Тобто на координатну площину наносились чисельні значення B і $K_{ГМ} / K_{ГМЗ}$ (рис. 1). Аналітичний вираз кривої, яка аппроксимує достатньо тісний потік емпіричних точок:

$$K_{ГМ} = 0,45 K_{ГМЗ} B^{0,3} \quad (3)$$

Пересічна квадратична помилка теоретичної кривої зв'язку складає близько 6,5%.

Для просторового моделювання вологості верхнього шару ґрунту у межах схилу або невеликого водозбору використана модель, розроблена для умов України у рамках проекту SPARTACUS [8] з використанням можливостей технології Географічних інформаційних систем. В основу моделі покладена методика розрахунків середньобагаторічної вологості верхнього шару ґрунту для літнього періоду в залежності від форми, експозиції схилу та віддаленості від вододілу С. Н. Романової [2] із коректуркою, виконаною на основі польових досліджень

просторового розподілу вологи на Балтському фізико-географічному стаціонарі ОНУ, проведених О. Ю. Степовою [5].

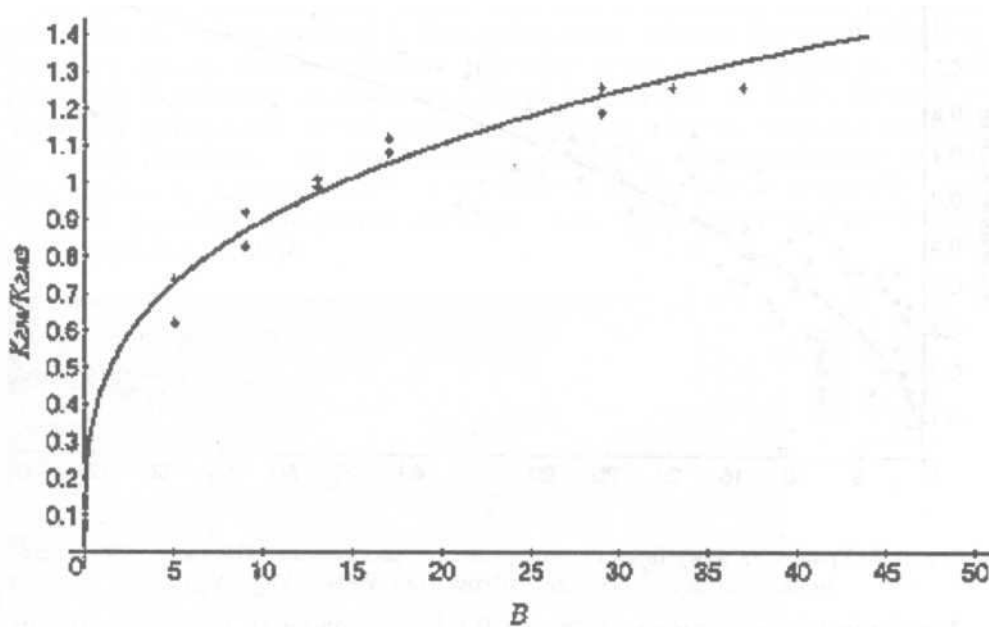


Рис. 1. Графік зв'язку гідрометеорологічного фактору зливого змиву ґрунту ($K_{зв}$) та індексу попереднього зволоження (B)

Для переходу від вологості верхнього шару ґрунту до індексу попереднього зволоження був знайдений зв'язок між індексом та вологістю верхнього шару ґрунту для основних генетичних підтипів ґрунтів України — чорнозему звичайного, чорнозему типового, чорнозему південного та темно-сірих лісових ґрунтів. Для цього використані дані спостережень за вологістю ґрунту на агрометеорологічних станціях і постах степової зони України, а також на території Богуславської польової експериментальної гідрологічної бази УкрНДГМІ (південь Київської області). Введення до аналізу водно-фізичних характеристик верхнього півметрового шару ґрунту — найменшої вологоємності ($W_{нв}$) та максимальної гігроскопічності ($W_{мг}$) — дозволило отримати територіально загальну залежність між індексом попереднього зволоження (B) та вологістю верхнього шару ґрунту (W) (рис. 2), яка описується аналітичним рівнянням:

$$B = 59,2 \left(\frac{W - W_{мг}}{W_{нв} - W_{мг}} \right)^2 + \frac{71,3 - W_{мг}}{4,08}, \quad (4)$$

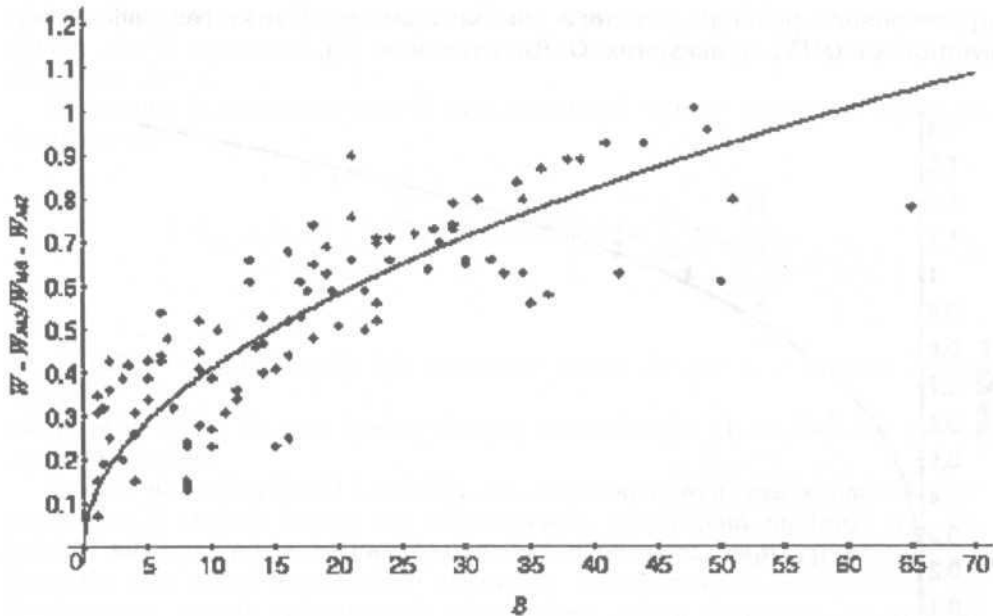


Рис. 2. Графік зв'язку індексу попереднього зволоження (B) та основних водно-фізичних характеристик ґрунтів ($\frac{W - W_{mf}}{W_{mo} - W_{mf}}$).

Кореляційне відношення складає 0,88, що говорить про достовірний зв'язок між дослідженими параметрами.

Таким чином, алгоритм створення карти просторового розподілу КГМ для схилу або невеликого водозбору включає наступні дії:

- створення карти просторового розподілу вологості ґрунту з використанням карт рельєфу та вододілів за моделлю [8];
- побудова карт максимальної гігроскопічності та найменшої польової вологості з урахуванням їх зміни у просторі в залежності від ступеню еродованості ґрунту (на основі карти ґрунтів);
- побудова карти просторового розподілу індексу попереднього зволоження з використанням отриманого рівняння зв'язку індексу попереднього зволоження та основних водно-фізичних характеристик ґрунту (4);
- створення карти просторового розподілу гідрометеорологічного фактору зливого змиву ґрунту за отриманим рівнянням (3) з урахуванням того, що на вододілі цей параметр дорівнює зональному показнику.

Вище наведений алгоритм програмно реалізований з використанням мовних та аналітичних можливостей ГІС-пакету РСІазгег [7]. Розроблена комп'ютерна модель дозволяє у автоматичному режимі виконувати побудову карт просторового розподілу гідрометеорологічного фактору зливого змиву ґрунту для схилу або невеликого водозбору з використанням набору електронних карт, підготовлених програмними засобами ГІС-пакету на основі цифрової моделі рельєфу

і ґрунтової карти, а також зонального значення гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту і середньобагаторічної сезонної вологості верхнього півметрового шару ґрунту.

На рис. 3 представлена карта $K_{гм}$ для тестової ділянки розміром 900 x 900 м, розташованої у Белградському районі Одеської області. Більшу частину ділянки займає правобережний схил долини р. Малий Катлабух переважно східної експозиції і нахилом до 0,13. Ґрунти — чорнозем звичайний міцелярно-карбонатний різного ступеню змитості — від незмитого на вододільному плато і привододільних ділянках схилів до сильнозмитого і намитого, відповідно у середній і нижній їх частинах. Значення регіонального гідрометеорологічного фактору дорівнює 0,0033.

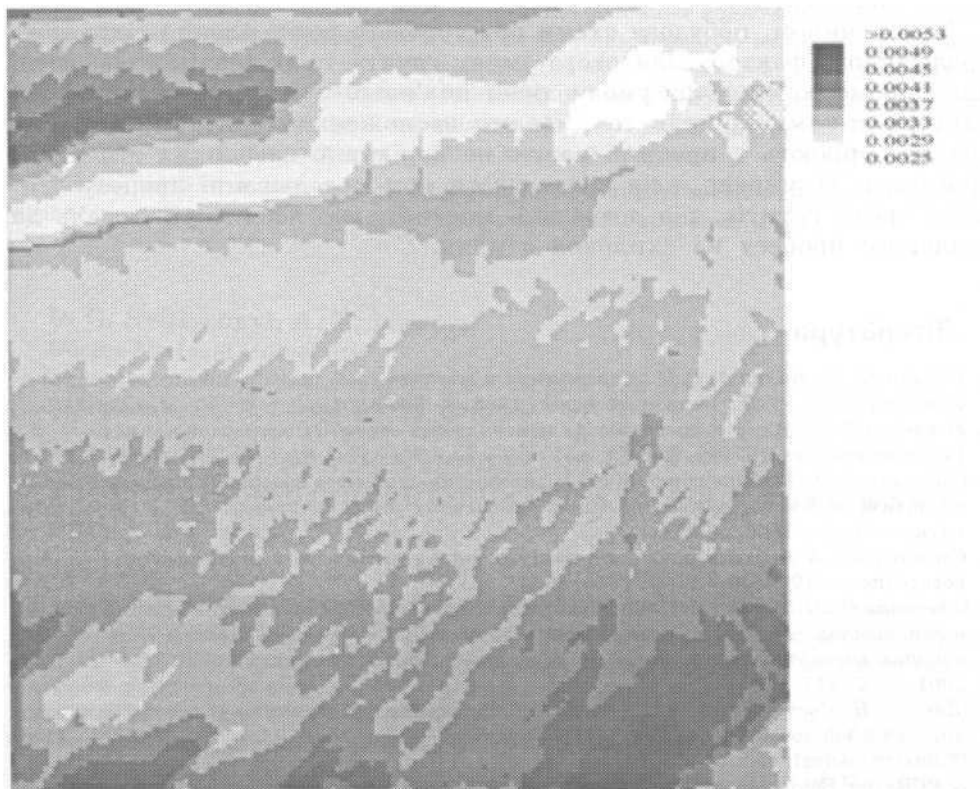


Рис. 3. Схема просторового розподілу гідрометеорологічного фактору зливогого змиву ґрунту

Схема просторового розподілу гідрометеорологічного фактору зливогого змиву показує, що навіть на цій невеликій ділянці із в цілому „нейтральною” східною експозицією поверхні норма $K_{гм}$ змінюється у достатньо широких межах - від 0,0025 до 0,0053, відхиляючись від значень, характерних для вододільних ділянок, тобто від зонального $K_{гм}$, на +40% та -30%.

Понижені значення характерні для привододільних частин схилів західної експозиції, підвищені — для елементів тимчасової гідрографічної сітки, верхівок улоговин. Аналіз схеми показує, що більшість території (близько 83%) лежить у межах значення $K_{z,m}$ від 0,0033 до 0,0045, відхиляючись від зонального $K_{z,m}$ на +40%. Тобто для даної території в цілому характерні значення середнього багаторічного $K_{z,m}$ більші, ніж значення зонального гідрометеорологічного фактору, що пов'язано з місцевими умовами зволоження, а також з основними водно-фізичними характеристиками ґрунтів. Поверхня із значеннями $K_{z,m}$, меншими, ніж 0,0033, займає близько 10% території. Це — ділянки схилів західної та південно-західної експозиції, які характеризуються зниженим вмістом вологи у верхньому шарі ґрунту.

Таким чином, побудова схеми просторового розподілення гідрометеорологічного фактору зливого змиву ґрунту та її аналіз показують, що гідрометеорологічні умови тісно пов'язані з водно-фізичними характеристиками ґрунтів та умовами зволоження території, а також значно варіюють у просторі навіть на порівняно невеликих ділянках. Цей факт, безумовно, слід враховувати при моделюванні процесу зливної ерозії ґрунтів, що дозволить максимально наблизити модель до реального процесу на схиліх землях.

Література

1. Бефани Н. Ф., Калинин Г. П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 390 с.
2. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 288 с.
3. Світличний О. О. Кількісна оцінка характеристик схилового ерозійного процесу і питання оптимізації використання ерозійно-небезпечних земель. Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — Одеса, 1995. — 47 с.
4. Світличний А. А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва // Почвоведение. — 1999, № 8. — С. 1015-1023.
5. Степовая О. Ю. Пространственное распределение элементов теплового и водного баланса в ландшафтах: методы оценки с использованием ГИС // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, серия "География". — Т. 14. — № 1. — 2001. — С. 117-120.
6. Швец Г. И., Світличний А. А., Черный С. Г. Гидрометеорологические условия формирования ливневой эрозии почв. Деп. ГНТБ Украины. — Деп. 24.02.93, № 261-Ук93. — 11 с.
7. *PCRaster manual, version 2.* - Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software. — 1998. — 368 p.
8. *SPARTACUS: Spatial redistribution of radionuclides within catchments: development of GIS-based models for decision support systems.* EC Contract No. IC15-CT98-0215. Final Report. M. Van der Perk, A. A. Svetlitchnyi, J. W. den Besten and A. Wielinga (eds). - Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands. — 2000. — 165 p.

А. А. Светличный, А. В. Иванова

Одесский национальный университет,
кафедра физической географии и природопользования
Шампанский пер., 2, Одесса, 65026, Украина

ПРИНЦИПЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЛИВНЕВОГО СМЫВА ПОЧВ

Резюме

Представлены результаты разработки и ГИС-реализации модели пространственного распределения нормы гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы на основе цифровой модели рельефа и почвенной карты. Модель учитывает экспозицию, крутизну, форму склонов, а также основные водно-физические характеристики верхнего полуметрового слоя почв — наименьшую влагоемкость и максимальную гигроскопичность. ГИС-реализация модели выполнена с использованием аналитических и языковых возможностей пакета РСКав1ег (Нидерланды). Приведены результаты применения модели к участку пашни размером 0.9 x 0.9 км, расположенному в Болградском районе Одесской области.

Ключевые слова: гидрометеорологический фактор ливневого смыва почвы, пространственное распределение, математическое моделирование, ГИС.

O. O. Svitlychnyi, A. V. Ivanova

Odessa National University,
Department of Physical Geography and Nature Management,
Shampansky St., 2, Odessa, 65026, Ukraine

PRINCIPLES OF SPATIAL MODELLING OF HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF SOIL STORM WASH OFF

Summary

The results of development and GIS-realization of spatial distribution model of the hydro-meteorological factor of soil storm wash off on the basis of a relief digital model and a soil map are submitted. The model takes into account an exposition, a steepness and form of slopes, and basic water-physical characteristics of the top halfmeter soil layer - the field moisture capacity and the maximal hygroscopic capacity. GIS-realization of the model is executed with use of analytical and language opportunities of the PCRaster package (the Netherlands). Results of application of the model to parcel of arable land with the size of 0.9 x 0.9 km which is situated in Bolgrad region of the Odessa district are presented.

Key words: hydro-meteorological factor of soil storm wash off, spatial distribution, mathematical modeling, GIS.