

D. O. Timchenko, Cand. Sci. (Agric.)

V. P. Kolyada, Cand. Sci. (Agric.)

M. V. Kutsenko, Cand. Sci. (Geographical)

*National Scientific Center "Institute of Soil Science and Agrochemistry
named after O. N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine, e-mail: koliadavalerii@gmail.com*

TO THE QUESTION OF GENERAL NATURE OF WIND AND WATER FLOWS FUNCTIONING

The article is devoted to the scientific aspects of erosion processes optimization on the basis of taking into account the common nature of the formation and functioning of water and wind flows in conditions of a certain landscape. The methodology of calculations of permissible flow velocities is considered, which corresponds to the task of protecting soils from erosion by the determined legislative base of Ukraine. The current state of the small Ukraine rivers are characterized by the prevalence of accumulation processes over erosion processes. Taking into account the experimental and theoretical conditionality of the dependencies between the types of erosion, we insist that all of them in conditions of additional correction on the experimental materials, allow to establish the optimal method for determining the size of the separated and transported particles of the soil material, as well as the parameters of the common nature of their movement.

Numerous investigations show that intensity of soil erosion processes depends on many simultaneous factors. Until today, the practice of optimizing soil protection activities is based on soil runoff prognosis but correctness of such prognosis is definitely lower comparing to the indicators of possible runoff. The general lack of erosion-accumulative process models for permanent waterflows provoke an insufficient elaboration of equations to calculate the deposits expenditures and expenditures, that are involved in the formation of the channel. Most of them include only a qualitative changes of deposits in time during a rivers siltation. Among the existing research methods the erosion prediction occupies an important place of distribution, since it is based on the physical nature of these phenomena and one of the most appropriate to determine the dynamics of the process in nature. The physical nature of the phenomena connected with water and wind soil erosion (deflation) is largely similar, as evidenced versatility of methods determined to obtain the critical water or wind flow velocities and small-particle motion in flows.

It is determined, that on the basis of the statements presented in the article, it is possible to obtain weight coefficients for the contribution of each element of the catchment area to the formation of an integrated water-soil river flow or the air flow. The universal dependence of soil losses on the properties of the surface and the main agents of erosion (water or wind flows)

have been explicated and explained.

It has been established that such parameters of the equations as: the transport potential of the flow, its critical velocities, the potential runoff directions or the main directions of the wind or water flows should be taken into account during optimization and for the purposes of activities selection for the catchment area to prevent siltation.

Keywords: erosion, transporting ability, flow, optimization.

УДК 631.4:551.3

Д. О. Тимченко, канд. с.-х. наук

В. П. Коляда, канд. с.-х. наук

Н. В. Куценко, канд. геогр. наук

Национальный научный центр "Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского", г. Харьков, Украина, e-mail: koliadavalerii@gmail.com

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ОБЩЕЙ ПРИРОДЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ И ВОДНЫХ ПОТОКОВ

Статья посвящена научным аспектам оптимизации эрозионных процессов на основе учета совместной природы образования и функционирования водных и ветровых потоков в условиях определенного ландшафта. Рассмотрена методология расчетов допустимых скоростей потоков, которая соответствует задачам охраны почв от эрозии определенным законодательной базой Украины.

Ключевые слова: эрозия, транспортирующая способность, поток, оптимизация.

УДК 631.4:551.3

Д. О. Тимченко, канд. с.-г. наук,

В. П. Коляда, канд. с.-г. наук

М. В. Куценко, канд. геогр. наук

Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського", м. Харків, Україна, e-mail: koliadavalerii@gmail.com

ДО ПИТАННЯ ВИВЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ПРИРОДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІТРОВИХ ТА ВОДНИХ ПОТОКІВ

Стаття присвячена науковим аспектам оптимізації ерозійних процесів на основі врахування спільної природи утворення й функціонування водних та вітрових потоків в умовах певного ландшафту. Розглянуто методологію розрахунків допустимих швидкостей потоків, що відповідає завданням охорони ґрунтів від ерозії

визначеним законодавчою базою України.

Ключові слова: ерозія, транспортуюча здатність, потік, оптимізація.

Постановка проблеми. Чисельні дослідження свідчать, що проблема захисту ґрунтів від ерозії, а малих річок – від забруднення носить комплексний характер (Светличный, Черный, Швобс, 2004; Заславский, 1987). Об'єктивні труднощі визначення умов прояву водної та вітрової ерозії пов'язані зі складною стохастичною природою цих процесів (Куценко, 2012). Прагнення до точного їх прогнозу потребує врахування великої кількості чинників у моделях, у результаті чого вони втрачають універсальність. З огляду на це можна констатувати важливість вивчення питання захисту земель від ерозії, а малих річок – від замулення та забруднення. Існуюча на сьогодні кількість математичних моделей прогнозу та оцінки ерозійно-аккумулятивних процесів на схилах і в річищах указує на об'єктивну необхідність у розробленні універсальної наукової основи автоматизованої оптимізації ґрунтозахисних та водоохоронних заходів (Наукові та прикладні основи, 2010). Крім цього, слід узяти до уваги загальні недоліки моделей ерозійно-аккумулятивних процесів постійних водотоків, а саме: недостатню розробленість рівнянь розрахунку допустимих витрат наносів і витрат, які беруть участь у формуванні русла та рівнянь, що враховують якісні зміни відкладів у часі в результаті замулення річищ (Караушев, 1960).

Мета роботи. Стаття присвячена науковим аспектам моделювання ерозійних процесів на основі врахування природи утворення та функціонування еродуючих потоків вітру та води.

Матеріали та методи досліджень. Серед існуючих методів досліджень ерозійних процесів ґрунтів було обрано метод моделювання прогнозу їх поширення, що базується на фізичній природі цих явищ і що дозволяє визначити динаміку розвитку процесу до їх інтенсифікації в природі. Використано аналітичні, логічні та порівняльні методи аналізу з метою визначення універсальних умов і принципів моделювання проявів водної ерозії потоків на основі їх фізичної природи, а також запропоновано сферу для їх можливого використання. Теоретична й методологічна основа досліджень складається з наукових праць учених ерозієзнавців з усього світу. Інформаційна емпірична та нормативна бази досліджень були представлені нормативними документами, що регулюють питання охорони ґрунтів від ерозії в Україні, а всі заявлені авторами положення схвалено та закріплено у відповідних патентах.

Результати та їх обговорення. Фізична природа явищ, пов'язаних з водною ерозією ґрунтів та дефляцією значною мірою є аналогічною, про що свідчить універсальність методів визначення критичних швидкостей розмиваючого водного потоку та масового руху часток повітряного потоку для ґрунту (Кузнецов, Глазунов, Григорьев, 1986).

Звідси випливає положення щодо області слабких діянь (малих швидкостей) водневих та повітряних потоків про залежність інтенсивності втрат ґрунту (q) від швидкості потоку (v), що може бути відображено в рівнянні:

$$q = kv^n, \quad (1)$$

де: n – показник значення ступеня, визначений за експериментальними даними, отриманими в дослідях з гідравлічним ерозійним лотком та аеродинамічною установкою; k – емпіричний коефіцієнт, що залежить від зовнішніх факторів насичення потоку і розраховується експериментально (Куценко, 2012).

У середньому значення $n = 1,5$, і в цьому випадку рівняння приблизного розрахунку інтенсивності втрат ґрунту в діапазоні швидкостей від нуля до $v_{кр}$ має наступний вигляд:

$$q = q_1 \left(\frac{v}{v_{кр}} \right)^{1,5}, \quad (2)$$

де q , q_1 – інтенсивності втрат ґрунту відповідно до швидкості потоку v та його критичної швидкості $v_{кр}$, що спричиняє безперервний відрив частинок ґрунту.

Для водного потоку вона дорівнює розмивній швидкості v_p , для вітрового – швидкості початку масового руху часток, v_m .

У разі заміни в попередньому рівнянні залежної змінної q на гранично допустиму інтенсивність втрат ґрунту $N_{дон}$ і трансформували його відносно швидкості (v), отримано загальну за структурою формулу для розрахунку припустимих для ґрунту швидкостей потоків:

$$\frac{V_{дон}}{V_{кр}} = \left[\frac{N_{дон}}{(q_1 t)} \right]^{0,67}, \quad (3)$$

де $N_{дон}$ – допустима величина втрат ґрунту, що не перевищує темпів природнього ґрунтоутворення в рік; t – загальна тривалість дії потоків на рік.

Для практичної реалізації встановленої залежності необхідно визначити $V_{кр}$, $N_{дон}$, q_1 , t . Величина $V_{кр}$, яка дорівнює v_p або v_m , розраховується за формулами, де основними аргументами виступають такі фізичні властивості ґрунтів, як наприклад, щільність твердої фази, пористість агрегатів, розмір структурних окремоностей і водостійких агрегатів, а також зчеплення між ними (Куценко, 2012).

Існуючі формули прогнозування змиву ґрунту та витрат наносів можна структурувати певним чином. Представлена нижче формула виражає ступеневу залежність змиву від ухилу та витрат води:

$$q = A Q^\alpha J^\beta, \quad (5)$$

де: q – витрати наносів, кг/с; A , α , β – коефіцієнти; Q – витрати води, м³/с; J – ухил.

Аналогічним чином ураховують довжину схилу, шорсткість поверхні, параметри ґрунту й рослинності.

Наступні типи формул належать до розрахунку приросту витрат наносів і їх можна узагальнити за допомогою рівняння:

$$\Delta q = k(\zeta_m - \zeta), \quad (6)$$

де: Δq – середній приріст витрат наносів на ділянці потоку, кг/с; k – коефіцієнт; ζ_m – транспортуюча спроможність потоку, середня для ділянки потоку, кг/с; ζ – витрати наносів, що потрапляють через верхній створ ділянки потоку, кг/с.

Формула (6) є більш обґрунтованою й адекватною процесу ерозії, оскільки

дозволяє враховувати одночасно властивості земної поверхні й водного, або повітряного потоків. Модуль змиву є лінійною функцією від різниці між транспортуючою спроможністю потоку та фактичними витратами частинок ґрунту, що в нього надходять. Якщо ця різниця додатна, то відбувається перенесення частинок, якщо від'ємна – їх відкладання. Якщо різниця дорівнює нулю, то частинки ґрунту пересуваються транзитом. Доведеним недоліком формул прогнозу швидкостей водних потоків та змиву ґрунтів є те, що вони мають одномірний характер і не враховують просторову диференціацію поверхневого стоку (Маккавеев, 1971). Але з іншого боку, такі формули можна використовувати для однорідних простих схилів з постійними ухилами.

Ерозія на конкретній ділянці земної поверхні залежить від співвідношень транспортуючої спроможності потоку і фактичних витрат наносів, а також – критичної (розмивної) та фактичної швидкостей потоку.

Таким чином, приймаючи у першому наближенні лінійний характер насичення водного потоку за довжиною його течії, одержимо рівняння (7, 8):

$$\Delta r_{i-1,i} = U_{i-1,i} \left(R_{i-1,i} - \sum_{j=2}^{i-1} \Delta r_{j-1,j} \right), \quad (7)$$

$$U_{i-1,i} = \begin{cases} 0 & \text{Якщо } R_{i-1,i} > \sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_{j-1,j} \text{ та } V_{i-1,i} < V_{pi-1,i} \\ \Delta l_{i-1,i} / \Delta x & \text{Якщо } R_{i-1,i} > \sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_{j-1,j}, V_{i-1,i} > V_{pi-1,i} \text{ та } \Delta x > \Delta l_{i-1,i} \\ 1 & \text{Якщо } R_{i-1,i} > \sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_{j-1,j}, V_{i-1,i} > V_{pi-1,i} \text{ та } \Delta x \leq \Delta l_{i-1,i} \\ 1 & \text{Якщо } R_{i-1,i} < \sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_{j-1,j} \end{cases}, \quad (8)$$

де $\Delta r_{i-1,i}$, $\Delta r_{j-1,j}$ – прирости витрат наносів між створами: $i-1$ та i ; $j-1$ та j потоку; $R_{i-1,i}$ – транспортуюча спроможність потоку між відповідними створами; $\sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_{j-1,j}$ – витрати наносів на початку ділянки, що розглядається; $U_{i-1,i}$ – коефіцієнт, який залежить від опору земної поверхні ерозії; Δx – відстань від початку ділянки $\Delta l_{i-1,i}$, що розглядається до створу, де потік повністю насичується до транспортуючої спроможності $R_{i-1,i}$; $v_{i-1,i}$, $v_{pi-1,i}$ – відповідно середня прогнозна та критична швидкість (розмивна), яка викликає прискорену ерозію.

Величина Δx прямо пропорційна стійкості ґрунту до розмиву, яку кількісно можна визначити критичною швидкістю, що викликає прискорену ерозію.

Рівняння (7) враховує системну сутність процесу ерозії й дозволяє адекватно моделювати його закономірності.

Цільову функцію ґрунтозахисної оптимізації агроландшафтів можна представити як мінімум втрат ґрунту від сумарного змиву та дефляції з усієї площі земель дослідної території:

$$F_{\min} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m U_{e_{i-1,i}} \left(R_{e_{i-1,i}} - \sum_{j=1}^{i-1} \Delta r_{ej-1,j} \right) + \sum_{p=1}^q \sum_{s=1}^w U_{d_{s-1,s}} \left(R_{d_{s-1,s}} - \sum_{z=1}^{s-1} \Delta r_{dz-1,z} \right), \quad (9)$$

де k, p – номери ділянок, обмежених сусідніми векторними лініями водного та повітряного потоків; n, q – відповідні кількості таких ділянок в межах території, що досліджується; i – номер поперечного перерізу водного потоку, який збігається з відрізком горизонталі між лініями стоку; m – їх кількість; s – номер поперечного перерізу повітряного потоку; w – їх кількість.

e та d – індекси, якими позначено відповідно ерозійний та дефляційний потоки.

Сенс можливої оптимізації потоків у цьому випадку полягає в такому розподілі сільськогосподарських угідь, полів, агротехнічних та інших протиерозійних заходів у просторі, який забезпечить мінімальні втрати ґрунту. Як бачимо з цільової функції в рівнянні (9), така постановка задачі враховує системний характер взаємодій в ерозійно-аккумулятивних та дефляційних процесах. На практиці таку оптимізацію здійснити дуже важко, оскільки між елементами ерозійних геосистем існують інваріантні співвідношення, які прагнуть забезпечити їх рівновагу.

Спробуємо проаналізувати шляхи оптимізації функціонування водного потоку на прикладі річки шляхом врахування взаємодії трьох рівнів – дна річища, водного потоку та заплави. Зупинимося на основних цільових функціях оптимізації стану малих річок. Стрижнем сталого функціонування річки є врівноважений поздовжній профіль долини, який забезпечує збалансований транспорт наносів (Куценко, 2012). Якби транспортуюча спроможність річки й витрати наносів не змінювалися б униз за течією, то ухил річища також був би постійним.

Зміни цього ухилу визначаються співвідношенням приросту наносів і приросту транспортуючої спроможності потоку за рахунок відповідних ділянок водозбору. Якщо приріст наносів більше, ніж приріст транспортуючої спроможності потоку, відбувається їх акумуляція, яка веде до позитивного приросту ухилу. У випадку зворотного співвідношення цих показників відбувається ерозія й приріст ухилу стає від'ємним. Звідси одержимо формули (10-12):

$$\Delta J_i = K(\Delta r_i - \Delta R_i), \quad (10)$$

$$J_j = J_0 + \sum_{i=1}^j \Delta J_i, \quad (11)$$

$$H_p = \sum_{v=1}^p \Delta L_v J_v, \quad (12)$$

де ΔJ_i – приріст поздовжнього ухилу в річищі на ділянці i ; Δr_i – приріст витрат наносів із водозбору на ділянці i річки (визначається формулою (7)); ΔR_i – приріст транспортуючої спроможності річки на цій ділянці; K – коефіцієнт пропорційності; J_j – поздовжній ухил долини річки на ділянці j ; J_0 – ухил ділянки долини, який було прийнято за початковий; ΔL_v – довжина v -ї ділянки долини; H_p – висота p -го створу врівноваженої долини відносно гирла річки.

Завдання щодо визначення шляху оптимізації умов сталого функціонування малих річок на основі представленої вище інформації вирішується шляхом визначення ліній стоку в межах міководозборів та їх складових для цього ландшафту.

Висновки. Результатом вирішення завдання щодо оптимізації функціонування потоків є одержання вагових коефіцієнтів кожного з елементів у формуванні інтегрованих водно-грунтового або ґрунтового-повітряного потоків. Змінюючи ці коефіцієнти, пов'язані через математичні рівняння з параметрами ґрунтового-рослинного покриву, можна одночасно проектувати оптимальні заходи для захисту ґрунтів від ерозії. Обґрунтовано й роз'яснено універсальну залежність втрат ґрунтів від властивостей земної поверхні та основних агентів ерозії у вигляді водного або повітряного потоків. Показано, що саме такі параметри рівнянь, як транспортуюча спроможність потоку та його критична швидкість мають, враховуватися в оптимізації підбору агротехнічних заходів на водозборі та для збереження чи створення умов, що запобігають замуленню річок.

Після поєднання відповідної технології та представленої інформації про спільну природу ерозійних-акумулятивних процесів стає можливим розробка й узгоджене розв'язання завдань оптимального захисту ґрунтів від ерозії, а річок та водойм – від замулення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Заславский М. Н.** Эрозиоведение / М. Н. Заславский. – М.: Высш. шк., 1987. – 315 с.
Zaslavsky M. N., 1987, "Erosion studies", Moscow, Higher school, 315 p.
- Караушев А. В.** Проблемы динамики естественных водных потоков / А. В. Караушев. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1960. – 392 с.
Karushev A. V., 1960, "Problems of natural water streams dynamic", Leningrad, Hidrometeoizdat, 392 p.
- Кузнецов М. С.** Методы изучения эрозионных процессов / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов, В. Я. Григорьев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 104 с.
Kuznetsov M. S., Glazunov G. P., Grigoriev V. Ya., 1986, "Methods of the erosion processes studying", Moscow, Publishing of Moscow University, 104 p.
- Куценко М. В.** Геосистемні основи регулювання ерозійно-акумулятивних процесів: геоморфосистемний аспект / М. В. Куценко. – Харків: КП «Міська друкарня», 2012. – 320 с.
Kutsenko M. V., 2012, "Geosystem basics of erosion-accumulative processes regulation: geomorphosystem aspect", Kharkiv, CE "Municipal Publishing", 320 p.
- Куценко М. В.** Науково-методологічні засади формування ґрунтозахисних та водоохоронних агроландшафтів: наук.-метод. посіб. / М. В. Куценко. – Харків: Вид-во «13 типографія», 2006. – 90 с.
Kutsenko M. V., 2006, "Scientific and methodological principles for formation of protected soil and water agricultural landscapes", scientific and methodological manual, Kharkiv, Publishing "13 typography", 90 p.
- Маккавеев Н. И.** Сток и русловые процессы / Н. И. Маккавеев. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 115 с.
Mackaveev N. I., 1971, "Runoff and channel processes", Moscow, Publishing of Moscow State University, 115 p.
- Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні / за ред. С. А. Балюка, Л. Л. Товажнянського.** – Харків: НТУ «ХП», 2010. – 460 с.
"Scientific and Applied Fundamentals of Soil Protection from Erosion in Ukraine", 2010, Edited by S. Baliuk, L. Tovazhnyansky, Kharkiv, Publishing of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 460 p.
- Светличный А. А.** Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты / А. А. Светличный, С. Г. Черный, Г. И. Швебс. – Сумы: Университетская книга, 2004. – 410 с.
Svetlichny A. A., Chorny S. G., Shwebs G. I., 2004, "Erosion Sciences: Theoretical and Applied Aspects", Sumy, Publishing University's Book, 410 p.