

**Олександра Гулько<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>кандидат економічних наук, старший викладач кафедри кадастру територій  
Національний університет “Львівська політехніка” (Львів, Україна)

E-mail: [olesya-72@ukr.net](mailto:olesya-72@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-6149>

ResearcherID: [G-7764-2014](https://orcid.org/0000-0003-1476-6149). Scopus Author ID: [57224950357](https://orcid.org/0000-0003-1476-6149)

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕРОЗІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТІВ У БРОДІВСЬКОМУ РАЙОНІ

*На основі досліджень ерозійної деградації ґрунтів Бродівського району проведено всі необхідні польові дослідження особливостей деградованих ґрунтів, лабораторні аналітичні дослідження їхніх фізико-хімічних властивостей та засобами ГІС здійснено моделювання змиву ґрунтів під впливом водної ерозії. Обстежено достатню кількість картографічних та статистичних матеріалів, що дало змогу виконати просторовий та часовий аналіз розвитку ерозійних процесів. Запропоновано рішення до найбільш оптимального безпечного використання ґрунтів досліджуваної території.*

**Ключові слова:** водна ерозія; деградація ґрунтів; протиерозійні заходи.

*Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 6.*

**Актуальність теми дослідження.** У зв'язку зі зміною структури землекористування різними агротехнологічними підходами ґрунти Бродівського району зазнають значного антропогенного навантаження, що зумовлює насамперед інтенсифікацію водної ерозії. Саме тому дослідження основних факторів, що спричиняють ерозійну деградацію ґрунтів, вивчення морфогенетичних змін у ґрунтах під впливом водної ерозії та моделювання наявного й потенційного водного змиву ґрунтових горизонтів визначають актуальність проведених досліджень. Польові дослідження морфологічних особливостей деградованих ґрунтів, лабораторні аналітичні дослідження їхніх фізичних і фізико-хімічних властивостей моделюють змив ґрунту під впливом водної ерозії. Актуальність цих досліджень також зумовлена тим, що нами вивчено картографічні та описові матеріали структури землекористування в межах цієї ділянки, що дало змогу проаналізувати вплив підходів у землекористуванні на інтенсифікацію водної ерозії та ступінь змиву, а також дало змогу запропонувати рішення до найбільш оптимального екологічнобезпечного використання ґрунтів території дослідження.

**Постановка проблеми.** Постановкою проблеми проведення ґрунтових обстежень на ерозійних ділянках ґрунтів, які зумовлені значними змінами у їхніх властивостях, що пов'язано з багатьма зовнішніми факторами, передусім через інтенсифікацію водної ерозії, інтенсивним використанням земель у сільському виробництві, приватизацією земель та зміною меж землекористувачів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На початок 30-х років минулого століття сформувався гіпотеза походження сірих лісових ґрунтів. Вона була сформульована В. Докучаєвим, який вважав, що сірі лісові ґрунти є самостійним ґрунтовим типом, сформованим у результаті своєрідного процесу ґрунтоутворення під широколистяними лісами в кліматичних умовах лісостепу [1]. Цю гіпотезу в різні часи підтримували та розвивали Г. Танфільєв, Р. Різположенський, П. Костичев, М. Сибірцев, Г. Висоцький, І. Фрейберг, П. Коссович, К. Глінка, Н. Ремезов, М. Філатов. Агротехногенні зміни ґрунтів Сокальського пасма (західна лісостепова провінція) під впливом інтенсивного сільськогосподарського використання вивчаються також М. Пшевлоцьким та В. Гаськевичем. Ними встановлено, що в сірих лісових ґрунтах на природний процес ґрунтоутворення накладається культурний (або природно-антропогенний), з яким пов'язана зміна напрямків та інтенсивності елементарних ґрунтових процесів. Це зумовлює переважання антропогенних процесів над природними, тобто природна еволюція даних ґрунтів поступово змінюється культурною. В їхній роботі доведено, що в межах ареалів сірих лісових ґрунтів активізуються процеси водної ерозії (передусім площинного змиву) та розвиваються деградаційні процеси [5]. Зокрема дослідження дерново-карбонатних ґрунтів висвітлено у монографії А. Кирильчука [2]. У 2000-2006 рр. під його

керівництвом на дослідних ділянках поблизу міста Радехів та села Білий Камінь проводилось вивчення динаміки елементарних процесів дерново-карбонатних ґрунтів, зміни під їхнім впливом морфологічної будови, складу і властивостей ґрунтів в умовах тривалого сільськогосподарського використання. А власне термін “ерозія”, за словами науковця Ю. Наконечного, часто використовується для визначення результатів дії звичайних чинників денудації поверхні Землі – стікаючих вод, вітру та ін. [4].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій та власні дослідження вказують на те, що саме водна ерозія є основною недослідженою частиною в проблемі деградації ґрунтів Бродівського району Львівської області.

**Метою статті** є детальне вивчення морфогенетичних властивостей сірих лісових, дернового-карбонатних та лучних ґрунтів, а також дослідженні ерозійних процесів у межах досліджуваної території.

**Виклад основного матеріалу.** Ерозія ґрунту, як фактор його деградації та деградації ґрунтового покриву, як визначник екологічної небезпеки, оцінюється насамперед інтенсивністю змиву та об’ємами матеріалу, що виноситься. Для кількісних оцінок цих показників з метою проектування та впровадження на практиці комплексу протиерозійних та ґрунтозахисних заходів нині використовується велика кількість різних типів моделей ерозії. У таблиці 1 наведено коротку характеристику основних типів цих ерозійних моделей.

Таблиця 1 – Основні типи ерозійних моделей

Тип моделі	Коротка характеристика
Цифрова	Використання комп’ютера при обробці більш широкого діапазону даних.
Стохастична	Виведення штучних послідовних рядів даних, отриманих на основі статистично оброблених величин існуючих простих даних. Максимальна ефективність моделі досягається в поєднанні з (а) чи (в) у випадку, коли необхідні вхідні дані наявні лише для коротких періодів дослідження.
Емпірична	Виявлення статистично видимих зв’язків між усіма ерозійно визначальними наявними даними. В основі моделі покладені дані, отримані при довготривалих комплексних дослідженнях. Виділяють три рівні аналізу: - найнижчий (т. зв. <i>black-box</i> ) – вивчаються тільки вхідні та вихідні дані; - середній (т. зв. <i>grey-box</i> ) – окрім вивчення вхідних та вихідних даних, визначаються окремі закономірності в роботі системи; - високий (т. зв. <i>white-box</i> ) – визначені та вивчені всі особливості роботи досліджуваної системи.

Більшість емпіричних моделей обчислення ерозійних втрат належать до цифрових із середнім рівнем аналізу (*grey-box*). Щоб побудувати таку модель, необхідно визначити найбільш важливі фактори, які впливають на характер та інтенсивність ерозійних процесів, і з допомогою комплексних досліджень, спостережень, вимірів та статистичної обробки математично сформулювати їхній вплив на втрати ґрунту. Саме до такого типу ерозійних моделей відносять модифіковане універсальне рівняння оцінки ерозійних втрат ґрунту (Revised Universal Soil Loss Equation).

$$A = R K L S C P,$$

де  $A$  – втрати ґрунту на одиницю площі (т/га);  $R$  – фактор опадів;  $K$  – фактор властивостей ґрунту;  $L$  – фактор довжини схилів;  $S$  – фактор крутизни схилів;  $C$  – фактор рослинного покриву;  $P$  – фактор протиерозійних заходів.

Найбільш точні результати для рівняння характерні при довжинах схилів до 120 м, їхній крутизни 3-8°, наявності рослинного покриву та певного обробітку ґрунту, для яких відповідні фактори ( $C$  та  $P$ ) вже є. Фактор опадів ( $R$ ), або зливовий ерозійний індекс, залежить від величини й інтенсивності зливових дощів та зумовлює виніс струменями

водного потоку ґрунтового матеріалу. R-фактор визначається на основі двох параметрів – кінетичної енергії дощу ( $E$ ) та його 30-хвилинної інтенсивності ( $I_{30}$ ). Зливовий ерозійний індекс R визначають за формулою:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EL_{30})_i}{N},$$

де  $(EL_{30})_i = EL_{30}$  для кількості злив  $i$ , а  $j$  – кількість злив протягом  $N$  років.

Показник  $EL_{30}$  характеризує енергію дощу чи зливи протягом її найбільшої тридцяти хвилинної інтенсивності. Оскільки енергія ( $E$ ) зatoryного, проте малоінтенсивного дощу може бути еквівалентна енергії короткочасного, але інтенсивного дощу (зливи), у формулі використовують компонент  $I_{30}$ . Визначення фактору властивостей ґрунту ( $K$ ) ґрунтується на експериментально встановлених співвідношеннях і виражається у вигляді лінійного рівняння:

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} (12 - a) M^{1,14} + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)] \cdot 0,01292,$$

де  $M = (\% \text{ фракції } 0,1-0,002 \text{ мм}) + (\% \text{ фракції } 0,1-0,002 \text{ мм} + \% \text{ фракції } 2-0,1 \text{ мм})$ ,  $a$  – вміст гумусу (%),  $b$  – код структури,  $c$  – клас водопроникності.

Відомо, що при збільшенні довжини схилу зростає ерозійна потенційна небезпека, яка виражається фактором  $L$ . Довжина схилу визначається як горизонтальна відстань від місця, де бере початок водний потік, до місця, де кут нахилу (крутизна схилу) є настільки незначним, що змитий матеріал починає відкладатися або невеликі струмені, об'єднуючись, починають формувати концентровані дощові потоки. L-фактор в RUSLE визначаються за формулою:

$$L = (\lambda/22,1)^m,$$

де 22,1 – унікальна одиниця довжини RUSLE, (м),  $m$  – показник крутизни схилу,  $\lambda$  – проєктована горизонтальна довжина схилу, (м).

C-фактор визначає величину ерозійних втрат ґрунту з певним типом рослинності порівняно з ґрунтом без рослинного покриву. На сьогодні розроблені сучасні методики із застосуванням як підоснови сателітних знімків, з яких за допомогою спектрального аналізу й відповідних формул визначають C-фактор. Фактор  $P$  відображає вплив на інтенсивність ерозійних процесів усіх протиерозійних заходів, таких як оранка вздовж схилів, терасування, контурний обробіток на схилах різної крутизни, гребенювання, захисні лісосмуги тощо. У випадку, коли ґрунтозахисні заходи не проводяться,  $P$ -фактор дорівнює 1. Програмний сценарій Erosion RUSLE створює нову GRID-тему ерозійних втрат ґрунту зі стандартною шкалою, значення якої згруповані згідно з чинними нормативами ерозійної деградації ґрунтового покриву.

Таким чином, на основі повної інтеграції географічних інформаційних систем з емпіричною моделлю RUSLE створений програмний модуль для обчислення середньорічних ерозійних втрат ґрунту в межах певної території. Програмний модуль створений на базі програмного середовища ArcView та ArcGis, для яких характерні розширені аналітичні можливості та виконання складних арифметичних та логічних операцій з векторною та растровою інформацією. Результатом створеного програмного модуля Erosion RUSLE є растровий тематичний шар величин втрат ґрунтової маси з поверхні ґрунту. Прикладом просторового моделювання ерозійних процесів засобами створеного програмного модуля Erosion RUSLE є територія Суховільської сільської ради Бродівського району, для якої були зібрані та опрацьовані дані дослідження 2021 року необхідні для створення ерозійних просторових моделей засобами ArcView 3.2. Дані були оформлені належним чином та переведені у векторний формат.

Вихідними даними при оцінюванні інтенсивності ерозії були цифрова модель рельєфу (ЦМР), отримана шляхом інтерполяції гіпсометричних шарів оцифрованої великомасштабної топографічної карти (масштабу 1:10 000). З метою кількісного моделювання поширення площинного змиву з використанням ГІС-технологій було створено електронну карту рельєфу місцевості на територію сільської ради Бродівського району.

Сучасні інформаційні технології дозволяють створювати ЦМР, які є основою для побудови ГІС і за їх допомогою вирішувати ряд наукових та народногосподарських проблем [3]. Можливості ГІС дозволяють інтерпретувати просторову інформацію в найрізноманітніших моделях та способах зображення. Зокрема, розпізнавання форм рельєфу місцевості доречно вести не лише традиційним шляхом – через зображення їх способами ізоліній (горизонталей), а і створенням за горизонталями триангуляційних моделей рельєфу (TIN – Triangulated Irregular Network).

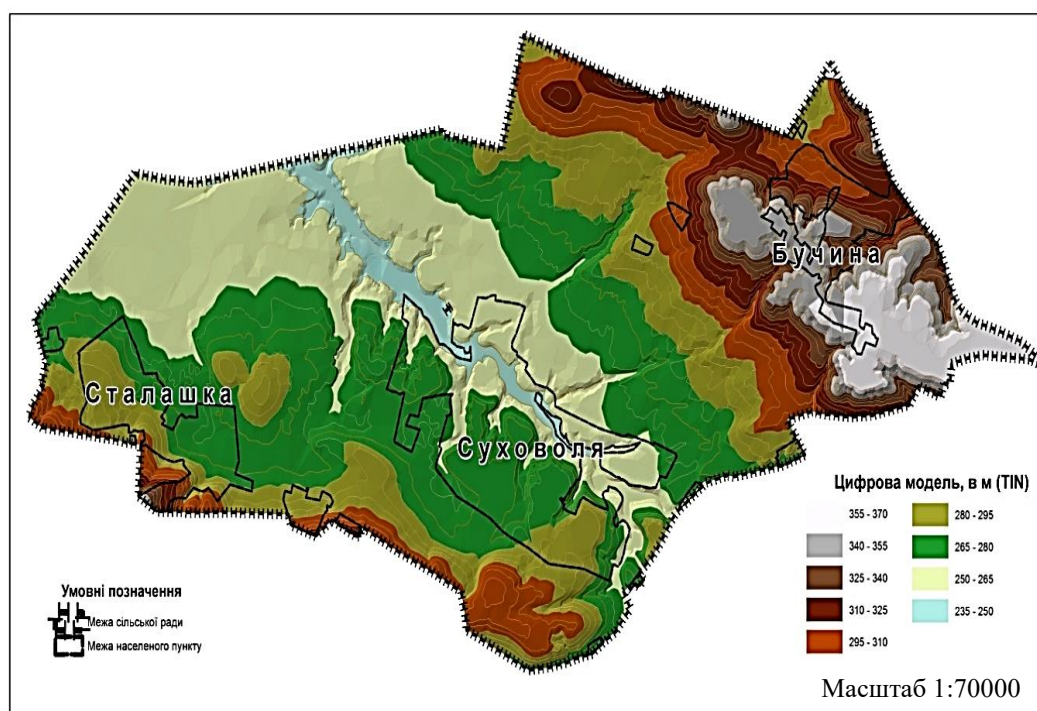


Рис 1. Триангуляційна модель рельєфу Суховільської сільської ради (отримана шляхом інтерполяції гіпсометричних шарів оцифрованої великомасштабної топографічної карти (масштабу 1:10 000))

Використання даних, отриманих у результаті польових досліджень та лабораторних аналізів НДЛ-50 2020 року дало змогу обчислити фактор властивостей ґрунтів К для ґрунтів досліджуваної території.

Враховавши фактор опадів (R), фактор властивостей ґрунту (K), довжини (L), крутизни (S) схилів, фактор протиерозійних заходів (P) та рослинного покриву (C) за допомогою модулю Erosion RUSLE отримали картосхеми втрат ґрунтової товщі внаслідок водної ерозії.

Ерозійна модель RUSLE створена для визначення довготривалих середніх ґрунтових втрат внаслідок площинної водної ерозії з певної території з різним рослинним покривом та системою обробітку ґрунту. Універсальність цієї моделі підтверджується великою кількістю праць із застосування USLE та RUSLE для територій різного розміру, з різними природними властивостями та антропогенним навантаженням. Недоліком цієї ерозійної моделі є те, що вона не враховує втрати ґрунту за рахунок інших видів ерозії, при обробітку та виносу його разом з врожаєм. Головною метою використання створеного модуля є можливість застосування його результатів для розробки практичних рекомендацій щодо ефективного ведення сільськогосподарського виробництва.

Аналіз статистичних досліджень окремих авторів дає змогу стверджувати, що найбільш точні результати для рівняння RUSLE характерні при довжинах схилів до 120 м, їхній крутизні 3-8°, наявності рослинного покриву та певного обробітку ґрунту, для яких відповідні фактори ( $C$  та  $P$ ) вже встановлені.

Для того щоб провести верифікацію даних, отриманих засобами ГІС-модуля в межах сільської ради, необхідні кількісні величини змитого ґрунту, які можна визначити безпосередньо в полі. Відомо, що найбільш точним прямим методом оцінювання об'єму змитого ґрунту є безпосереднє вимірювання об'єму стоку води та наносів зі схилів на спеціально встановлених дослідних ділянках (стокових площадках) або в замкнутих створах схилових водозборів. Проте такий метод потребує проведення багаторічних стаціонарних спостережень, тобто значних матеріальних затрат та часу. Крім того, виникають проблеми екстраполяції отриманих точкових даних на більші території. Можливість використання цього ерозійного модуля для попереднього визначення екологічно небезпечних територій також верифікуються ґрунтовими картографічними матеріалами та даними польових досліджень проведеними в 2013 році [6].

**Висновки.** У роботі вперше на території сільської ради Бродівського району вивчаються ерозійні процеси в часовому та просторовому контексті. Саме ерозійні процеси є основним деградаційним процесом, який спричиняє руйнування ґрунтів у межах території дослідження. Встановлено, що загальні щорічні збитки від ерозії становлять по країні 3,45 млрд грн, а втрати чистого прибутку – 2 млрд грн.

Для захисту ґрунтів Суховільської сільської ради від ерозії застосовано наступні протиерозійні заходи: організаційно-господарські (створення умов для запобігання і припинення ерозійних процесів, раціонального використання земель і підвищення родючості ґрунтів), агрономіко-аграрні протиерозійні заходи (прийоми протиерозійної технології вирощування культур на схилах), лісомеліоративні протиерозійні заходи (водорегулювальна і кольматуюча дія лісної підстилки, вітроломна дія, що сприяє рівномірному розподілу зимових опадів, зниженню величини випаровування з поверхні ґрунту). До групи організаційно-господарських заходів також належить протиерозійне землевпорядкування, яке передбачає ерозійно безпечне нарізування полів сівозмін, доріг, лісосмуг та інших об'єктів. На місцевості сформовано мережу рубежів, що захищають ґрунт від ерозії і водночас служать напрямними лініями його обробітку та впливають на створення штучних водозборів і можуть значно підсилювати інтенсивність ерозії у випадку неправильного їх розміщення. Тому рубежі на місцевості розташовано таким чином, щоб сприяти максимальному затриманню вологи перед ними й забезпечувати профілактику водної ерозії. Для цього потрібно, щоб всі рубежі на місцевості вписувалися у рельєф, тобто проходили по горизонталях або мали допустимі відхилення від них.

Отримані результати досліджень є вагомим внеском у розвиток теоретичних і практичних основ регіонального ґрунтознавства. Їх пропонується використовувати для: удосконалення діагностики та класифікації ґрунтів; коригування матеріалів ґрунтових обстежень попередніх років; бонітетної та ґрунтово-екологічної оцінки ґрунтів; для розробки заходів збереження та покращення родючості ґрунтів; їхньої охорони від можливого антропогенного впливу.

#### Список використаних джерел

1. Аверченко В. І. Ґрунтознавство : навч. посіб. / В. І. Аверченко, Н. М. Самойленко. – Х. : Мачулін, 2018. – 118 с.
2. Кирильчук А. А. Дерново-карбонатні ґрунти (рендзини) Малого Полісся : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.05 / А. А. Кирильчук; Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. – Львів, 2001. – 20 с.
3. Оцінка стійкості параметрів рельєфу басейнів малих річок до антропогенного навантаження / І. П. Ковальчук, Ю. М. Андрейчук, Є. А. Іванов, О. І. Микитчин // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія / відп. ред. В. П. Хільчевський. – К. : ВГЛ "Обрії", 2008. – Т. 14. – С. 221-231.
4. Наконечний Ю. І. Ерозієзнавство: методичні вказівки / Ю. І. Наконечний. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. – 35 с.

5. Пшевлотський М. І. Ґрунти Сокальського пасма і їх агротехногенна трансформація / М. І. Пшевлотський, В. Г. Гаскевич. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка. – 2002. – 180 с.

6. Український археографічний щорічник. – К. : Український письменник, 2013. – Вип. 18, т. 21. – 852 с.

### References

1. Averchenko, V.I., Samoilenko, N.M. (2018). *Gruntoznavstvo [Soil science]*. Machulin.
2. Kyrylchuk, A.A. (2001). *Turf-carbonate soils (rendziny) of Maly Polissia [Dernovo-karbonatni hruty (rendzyny) Maloho Polissia]*. [PhD dissertation, Lviv. National University Named after I. Franko].
3. Kovalchuk, I.P., Andreychuk, Yu.M., Ivanov, E.A., & Mykytchyn, O.I. (2008). Otsinka stiikosti parametriv rel'iefu basiniv malykh richok do antropohennoho navantazhennia [Assessment of the stability of relief parameters of small river basins to anthropogenic load]. In V.P. Khilchevskyi (Ed.), *Hidrolohiia, hidrokhiimiia, hidroekolohiia – Hydrology, hydrochemistry, hydroecology* (Vol. 14, pp. 221-231). VGL "Obrii".
4. Nakonechnyi, Yu. I. (2021). *Eroziieznavstvo: metodychni vказivky [Erosion science: methodological guidelines]*. LNU named after Ivan Franko.
5. Pshevlotskyi, M.I., & Gaskevich, V.G. (2002). *Grundy Sokalskoho pasma i yikh ahrotekhnohenna transformatsiia [Soils of the Sokal range and their agrotechnological transformation]*. Publishing Center of LNU named after I. Franko.
6. *Ukrainskyi arkheohrafichnyi shchorichnyk [Ukrainian archeographic yearbook]*. (2013). 18(21). Ukrainian writer.

Отримано 12.06.2022

UDC 502.334.722(477)

**Oleksandra Hulko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Economic Sciences, Senior Lecturer of the Department of Land Cadastre  
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: [olesya-72@ukr.net](mailto:olesya-72@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-6149>

ResearcherID: [G-7764-2014](https://orcid.org/0000-0003-1476-6149). Scopus Author ID: [57224950357](https://orcid.org/0000-0003-1476-6149)

## SOIL EROSION DEGRADATION RESEARCH METHODS IN THE BRODIV DISTRICT

*The study of the main factors causing erosive degradation of soils, the study of changes in soils under the influence of water erosion, and the modeling of existing and potential water washout of soil horizons determine the relevance of the conducted research. Analysis of morphological features of degraded soils, laboratory analytical studies of their physical and physico-chemical properties, and with the help of GIS tools, modeling of soil washing under the influence of water erosion was carried out. The analysis of studies and publications on the analysis of the main factors that cause erosive degradation of soils, functional analysis and the implementation of modeling of soil washout under the influence of water erosion with the help of GIS tools showed that the issue of changes in background soils under the influence of water erosion and modeling of existing and potential water washout of soil horizons have received little attention in the scientific literature.*

*The purpose of the article is a detailed study of the properties of gray forest, turf-carbonate and meadow soils, as well as the study of erosion processes within the studied territory.*

*Cartographic and descriptive materials of the structure of land use in different years within this model area were studied, which made it possible to analyze the impact of approaches in land use on the intensification of water erosion and the degree of washing. Field and laboratory-analytical studies were conducted to study the morphological, physical, physico-chemical properties of the studied soils. A set of GIS maps has been developed. A 3D terrain model was created to determine the long-term average soil loss due to water erosion under a certain vegetation cover and with a certain tillage system, design and implementation of soil protection measures.*

*For the first time, erosion processes are studied in the territory of the district in a temporal and spatial context. The obtained research results are a significant contribution to the development of the practical foundations of regional soil science. They are proposed to be used for improvement of soil diagnostics and classification; to develop measures to preserve and improve soil fertility; their protection from possible anthropogenic influence.*

**Keywords:** water erosion; soil degradation; anti-erosion measures.

Fig.: 1. Table: 1. References: 9.