

# ҐРУНТОЗНАВСТВО ТА АГРОХІМІЯ

УДК 631.459:63

## КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕРОЗІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

**С. Ю. БУЛИГІН**, доктор сільськогосподарських наук,  
професор кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М.  
К.Шикули, академік НААН

**С. В. ВІТВИЦЬКИЙ**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М. К.Шикули  
**Національний університет біоресурсів і природокористування  
України**

E-mail: slavavit@ukr.net

**Анотація.** Головною причиною деградації агроландшафтів є ерозія ґрунтів, наслідки якої протягом останніх десятиріч набули загрозливих екологічних розмірів і нанесли значних економічних втрат сільськогосподарському виробництву.

Ерозія ґрунтів – результат складної взаємодії природних факторів і господарської діяльності людини. Водночас остання у більшості випадків є головною причиною і провідним фактором ерозії.

Об'єктом досліджень було ґрунтове вкриття Печенізького регіонального ландшафтного парку “Печенізьке поле”, на території якого застосовуються спеціальні ґрунтозахисні заходи і засоби: полезахисні лісосмуги, стоковідвідні канали, виведення частки території з-під оранки, використання травопільних сівозмін.

Метою досліджень було встановлення розміру можливих ерозійних втрат ґрунту з території та визначення надходжень змитого ґрунту до ріки Гнилушка, проведення порівняльної оцінки наявної ерозійної небезпеки та небезпеки за умови протиерозійного обладнання території, перевірка і доопрацювання методики кількісної оцінки втрат ґрунту і забруднення водоймищ внаслідок ерозії ґрунтів.

У статті наведені результати двох серій прогнозних розрахунків для умов існуючого розміщення угідь та у випадку впровадження проекту ґрунтозахисного облаштування території. Кількісна оцінка з використанням моделі ерозії WEPP та спеціалізованого програмного забезпечення показала, що за випадання зливи 10 %-ої забезпеченості облаштування території лісосмугами та стоковідвідними спорудами дозволяє значно знизити ерозійну небезпеку, навіть в умовах чорного пару.

**Ключові слова:** водна ерозія, ерозійна небезпека, ерозійні втрати, модель ерозійних процесів, ґрунтозахисний агроландшафт

**Актуальність.** Найбільших і практично невідновлюваних втрат від ерозії серед усіх галузей господарства зазнає аграрна сфера.

Середньорічні втрати ґрунту від водної ерозії складають понад 10 т / га [1]. За відповідними розрахунками ґрунтовий покрив країни щорічно втрачає 740 млн. т родючого ґрунту, у якому міститься близько 24 млн. т гумусу, 0,7 млн. т – рухомих фосфатів, 0,8 млн. т – калію, 0,5 млн. т – азоту та велика кількість мікроелементів [2].

Площа пошкоджених водною ерозією земель в Україні, сягає 33,3 % або 13,3 млн. гектар, причому із них 4,5 млн. га – середньо- і сильнозмиті ґрунти, серед яких 68 тис га повністю втратили гумусовий горизонт [3].

Причинами прискорення ерозійних процесів в Україні є масове ігнорування найпростіших агротехнічних протиерозійних заходів, недосконалість землевпорядної організації території для забезпечення елементарного протиерозійного захисту, недооцінка ролі польових лісосмуг, неефективне використання коштів, спрямованих на запобігання ерозії, внаслідок чого деградаційні процеси останнім часом досягли небувалого розміру [4].

Високий ступінь розораності сільськогосподарських угідь та надмірна насиченість сівозмін просапними культурами на фоні недотримання основних положень комплексу заходів щодо підвищення і збереження родючості ґрунтів – прямий шлях до знищення ґрунтового вкриття як основи існування життя на нашій планеті.

Кількісна оцінка водної ерозії передбачає дві системи критеріїв оцінки: за фактичною еродованістю ґрунтового покриву та за потенційною небезпекою ерозії за певного рівня ймовірності дії факторів ерозії. Для оновлення застарілих даних щодо еродованості ґрунтів України необхідне проведення повторного суцільного обстеження ґрунтового покриву на сучасній методичній базі, що вимагає значних фінансових витрат. Однак існує можливість провести оцінку ерозійної небезпеки з використанням математичних моделей ерозії, які дають змогу отримати інформацію про інтенсивність і напруженість ерозійних процесів та встановити величину можливих ерозійних втрат ґрунту [5].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Водна ерозія ґрунтів є одним із найнебезпечніших ґрунтових деградаційних процесів у світі і за оцінками експертів FAO викликає щорічні втрати від 25 до 40 млрд. тон верхнього шару ґрунту, що до 2050 року буде еквівалентно втраті 7,8 % площі всіх орних земель світу [6]. Раціональне використання ґрунтів та збереження їхньої родючості багато у чому залежить від адекватної оцінки і прогнозу ерозійної небезпеки території. Роботи цілої низки вчених (Мірцхулава Ц. Є., Швєбс Г. Л., Заславський М. Н., Ларіонов Г. О. та ін..) внесли значний вклад у розкриття механізму ерозійних процесів. Але, починаючи з кінці 80-х років ХХ століття у розкритті механізму ерозії почали домінувати американські науковці, які обґрунтували концепцію розподілу на струмкові і міжструмкові ерозійні області, на базі якої розроблена модель ерозії WEPP (*Water Erosion Prediction Project*). Модель дає можливість розрахувати руйнування струмками і величину міжструмкової ерозії залежно від інтенсивності дощу [7].

Останнім часом за моделювання ерозійних втрат ґрунту застосовують моделі, які враховують складні взаємозв'язки та просторову мінливість факторів водної ерозії. Використання геоінформаційних технологій шляхом реалізації або інтеграції подібних моделей дозволяє на якісно новому рівні спрогнозувати водно-ерозійну небезпеку території і розробити її відповідне планування для запобігання водної ерозії [8]. Одночасно із удосконаленням математичних моделей розвивається методика геоінформаційного аналізу рельєфу місцевості зі складанням детальних моделей на основі даних зйомки з безпілотних літальних апаратів, яка надає можливість проаналізувати орієнтацію поверхні ґрунту, його горизонтальну та вертикальну кривизну, довжину схилу, можливий напрям поверхневого стоку [9].

**Мета дослідження** – встановити розмір можливих ерозійних втрат ґрунту з території для подальшого визначення надходжень змитого ґрунту до ріки Гнилушка; проведення порівняльної оцінки наявної ерозійної небезпеки та небезпеки за умови протиерозійного обладнання території; перевірка та доопрацювання методики кількісної оцінки втрат ґрунту та забруднення водоймищ внаслідок ерозії ґрунтів.

**Матеріали та методи досліджень.** За основу досліджень протиерозійного обладнання було взято проект агроландшафтної реорганізації Печенізького регіонального ландшафтного парку “Печенізьке поле”, який передбачає обладнання території спеціальними ґрунтозахисними заходами, такими як полезахисні лісосмуги, стоковідвідні канали, виведення частини території з-під оранки, використання травопільних сівозмін. Матеріалами для досліджень служили картографічні і довідникові джерела та експериментальні дані, отримані у рамках виконання наукової роботи .

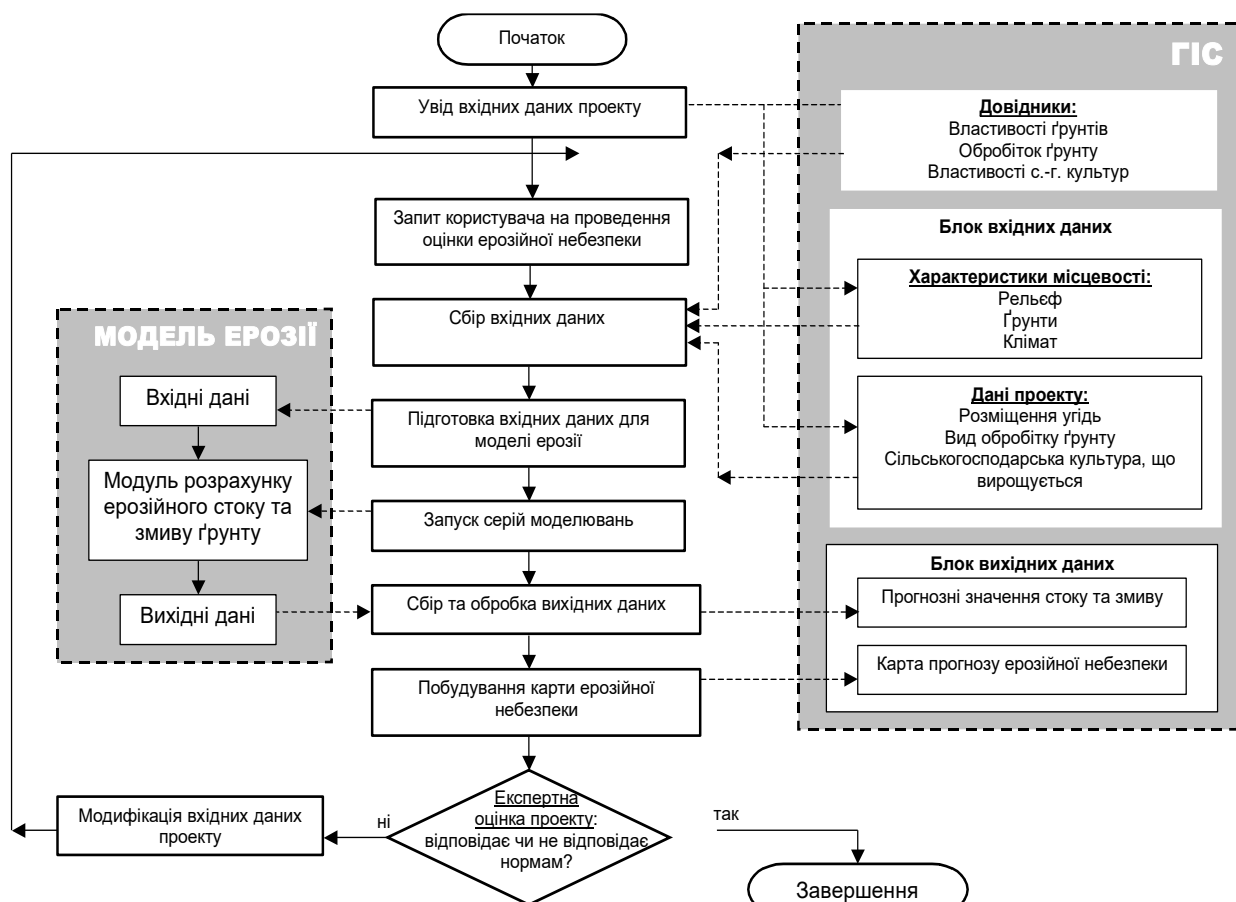
**Результати та їх обговорення.** За планування та проектування ґрунтозахисних агроландшафтів (АЛ) першочерговим є завдання отримання кількісного прогнозу ерозійних втрат і кількісна оцінка ерозійної небезпеки, яка повинна проводитися з використанням математичних моделей ерозії. Тут слід доповнити, що ефективне застосування теоретичних математичних моделей можливе лише у разі застосування сучасних комп'ютерних апаратних та програмних засобів.

Нами було розроблено алгоритмічні засади системи для проектування ґрунтозахисних АЛ з використанням геоінформаційної системи та моделі ерозії WEPP у якості розрахункового інструменту для отримання кількісного прогнозу ґрунтоерозійних втрат. Більшість розроблених алгоритмічних рішень було перевірено на практиці, як це буде показано нижче.

Основою для отримання кількісної оцінки ерозійної небезпеки є модель ерозії WEPP, розробником якої є Національна лабораторія ерозії США. WEPP – це фізично обґрунтована модель, яка дозволяє проводити моделювання ерозійних процесів сільськогосподарських угідь, розташованих на малих водозборах (площиною до 250 га). Модель побудовано на основі математичних рівнянь, що описують фізичні процеси ерозії ґрунту та гідрології ерозійного стоку. При цьому територія водозбору згідно з її рельєфом поділяється на елементарні одиниці – схили та водотоки. Модель

дозволяє прослідкувати шляхи транспортування стоку та змиву вздовж елементів рельєфу аж до виходу водозбору. Моделювання може проводитися у двох режимах: у режимі довготермінового моделювання та у режимі моделювання одиничної зливи. Вхідними даними для моделі є дані про рельєф місцевості, характеристики ґрунтів водозбору, видів обробітку ґрунту та сільськогосподарської рослинності на його полях, параметри, що характеризують кліматичні умови місцевості.

Алгоритм проведення кількісної оцінки ерозійних втрат ґрунту за проектування ґрунтозахисного обладнання території з використанням ґеоінформаційної системи та моделі WEPP наведено на рис. 1. На рис. 3 наведено карту рельєфу та ґрунтів місцевості, на рис. 4 і 5 – відповідно існуюче розміщення сільськогосподарських угідь на території, для якої проводилися розрахунки, та рекомендоване обладнання території ґрунтозахисними засобами.



**Рис. 1. Алгоритм кількісної оцінки ерозійної небезпеки за використання моделі ерозії**

Алгоритм наведено у сукупності зі структурами даних, які використовують або формують окремі блоки даних алгоритму.

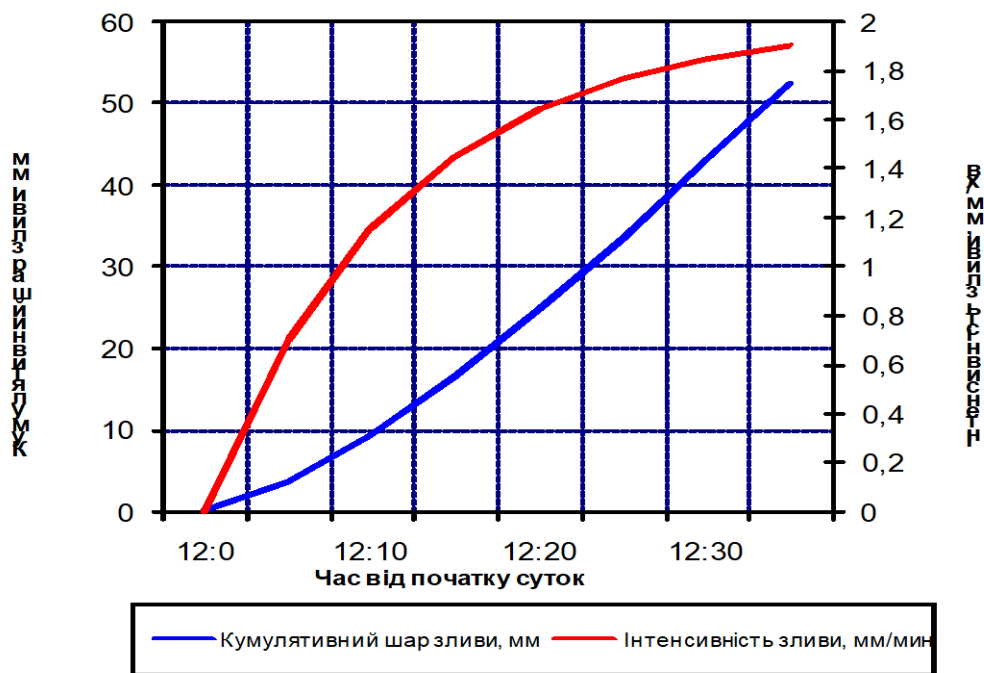
Згідно з алгоритмами, наведеними вище було отримано кількісний прогноз ерозійної небезпеки фрагменту території сільськогосподарських угідь Печенізького району Харківської області, що розміщується вздовж берегів ріки Гнилушка.

**1. Склад ґрунтів сільськогосподарських угідь Печенізького району Харківської області, для якої проводилася кількісна оцінка ерозійних втрат ґрунту**

Шифр	Тип ґрунту	Аль-бедо, %	Вологість, %	Коефіцієнти ерозійної стійкості			Горизонт						
				Коефіцієнт міжструмкової ерозії $K_i$ , кг-с/м <sup>4</sup>	Коефіцієнт струмкової ерозії $K_r$ , с/м	Критичний зсув $\tau_c$ , Па	Назва	Потужність, см	Вміст піску, %	Вміст глини, %	Вміст органіки, %	ЄКО, мг-екв./100г	Каменистість, %
52	Чорнозем типовий глибокий малогумусний	18	18	4093026	0,007009	3,5	H	45	12,77	35,57	2,97	32,75	0
							Hpk	75	12,77	35,57	2,27	32,20	0
							Phk	110	12,77	35,57	1,10	29,35	0
55	Чорнозем типовий глибокий малогумусний у комплексі з такими ж слабозмитими	19	18	4014741	0,006982	3,5	H	45	16,37	36,99	2,79	32,75	0
							Hpk	75	16,37	36,99	2,09	32,20	0
							Phk	110	16,37	36,99	1,05	29,35	0
74	Чорнозем типовий середньозмитий	25	18	4639916	0,007693	3,5	Hpk	30	33,29	25,65	2,21	32,20	0
							Phk	65	33,29	25,65	1,40	29,35	0
							Pk	90	33,29	25,65	0,47	18,71	0
75	Чорнозем типовий сильнозмитий	27	18	4639916	0,007693	3,5	Hpk	10	33,29	25,65	1,92	32,20	0
							Phk	45	33,29	25,65	1,22	29,35	0
							Pk	90	33,29	25,65	0,47	18,71	0
196d	Чорноземно-лучний ґрунт	19	21	2000000	0,00070	2,99	H	45	11,33	24,80	2,85	26,60	0
							Hpk	83	10,61	24,37	1,57	22,70	0
							Phk	136	10,20	21,40	0,99	18,71	0
302al	Болотний солонцюватий солончакуватий ґрунт	10	21	2000000	0,00058	2,55	Pkgl	178	11,88	19,75	0,55	18,71	0
							Hd/t	5	12,01	25,56	4,48	32,75	0
							Hi ksgl	13	12,01	25,56	4,48	32,75	0
							HPiksgl	60	8,25	36,32	0,78	32,75	0
							PGIks	80	1,24	24,94	0,62	32,75	0

Кількісну оцінку було зроблено з використанням моделі ерозії WEPP та спеціалізованого програмного забезпечення, що реалізує алгоритм кількісної оцінки ерозійної небезпеки. Розрахунки виконувалися для умов чорного пару при випаданні зливи 10 %-ої забезпеченості, що дозволяє встановити максимальні ерозійні втрати та оцінити надійність проекту ґрунтозахисного обладнання території за виникнення найбільш небезпечних умов. У таблиці 1 подані параметри ґрунтів в об'ємі,

необхідному для параметризації моделі WEPP. На рис. 2 наведено параметри зливи 10 %-ої забезпеченості, характерної для території Печенізького району Харківської області.



**Рис. 2. Характеристика зливи 10 %-ої забезпеченості**

Було проведено дві серії прогнозних розрахунків: перша – для умов існуючого розміщення угідь, друга – для випадку впровадження проекту ґрунтозахисного облаштування території. Для цього у обох випадках було визначено переважні напрямки ліній стоку, як це показано на рис. 4 та 5. Для кожної лінії стоку було виконано розрахунок ерозійних втрат ґрунту з використанням моделі WEPP, після чого було проведено регуляризацію та інтерполяцію отриманих даних та побудовано карти ерозійної небезпеки для кожного випадку, карти наведені на рис. 6 та 7.

Як видно на рис. 6, за існуючого облаштуванні території небезпека ерозійних втрат ґрунту на орних землях дуже велика внаслідок особливостей рельєфу території, тоді як прогноз ерозійної небезпеки за умови впровадження проекту ґрунтозахисного обладнання території (див. рис. 7) показує, що обладнання території лісосмугами та стоковідвідними спорудами призводить до значної знижки ерозійної небезпеки навіть в умовах чорного пару, але водночас ще залишаються недостатньо захищені зони, на яких згідно з проектом агроландшафтної реорганізації слід впровадити додаткові агротехнічні заходи, такі як травопільні сівозміни та виведення з-під оранки. Більш точний прогноз ерозійної небезпеки з урахуванням агротехнічних заходів можна буде провести після того, як буде складено необхідні бази даних сільськогосподарських рослин та видів обробітку ґрунту.

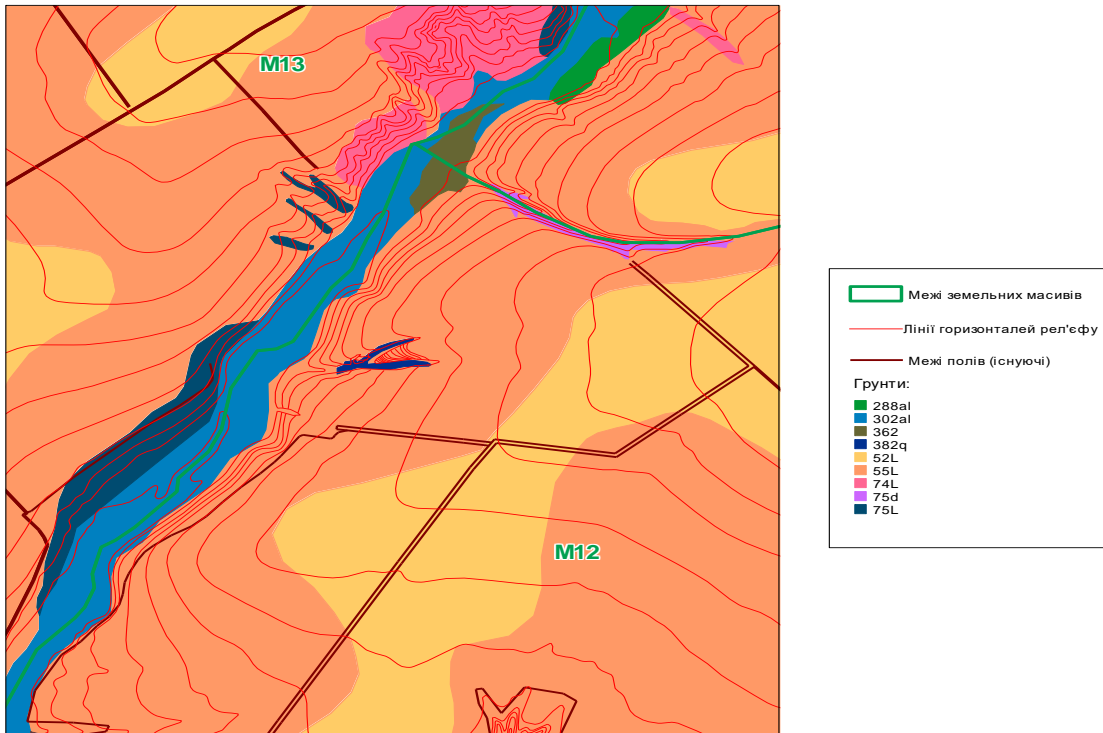


Рис. 3. Карта ґрунтів та рель'єфу фрагменту території

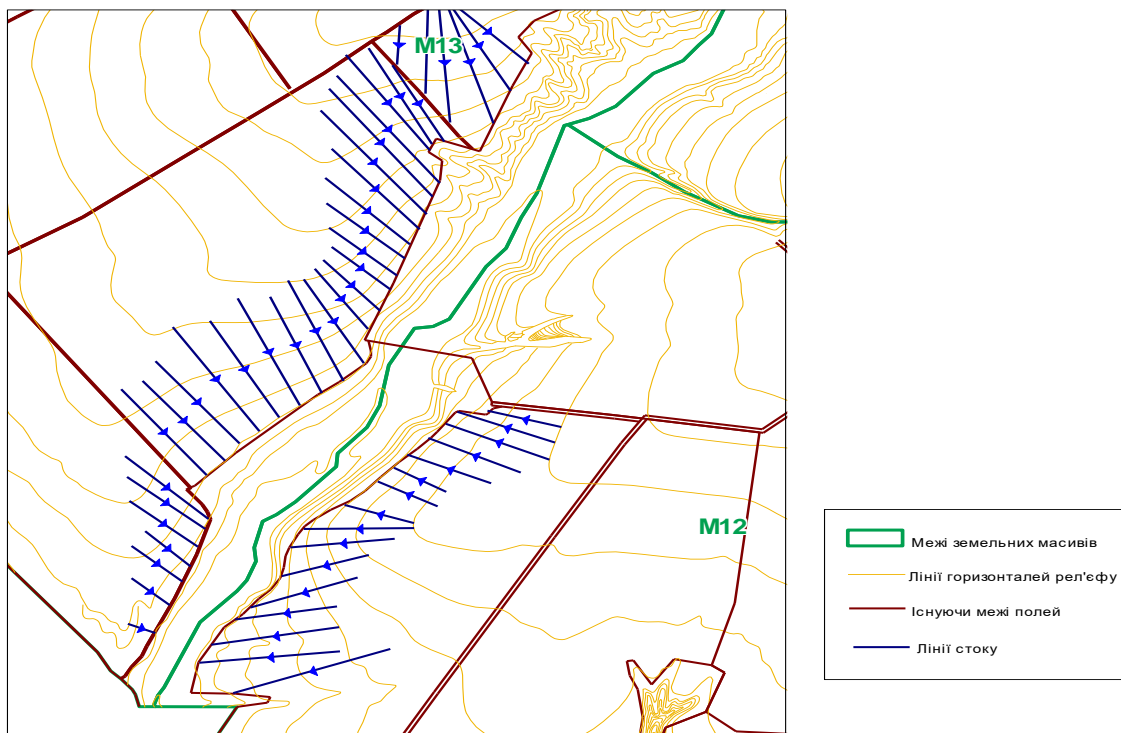
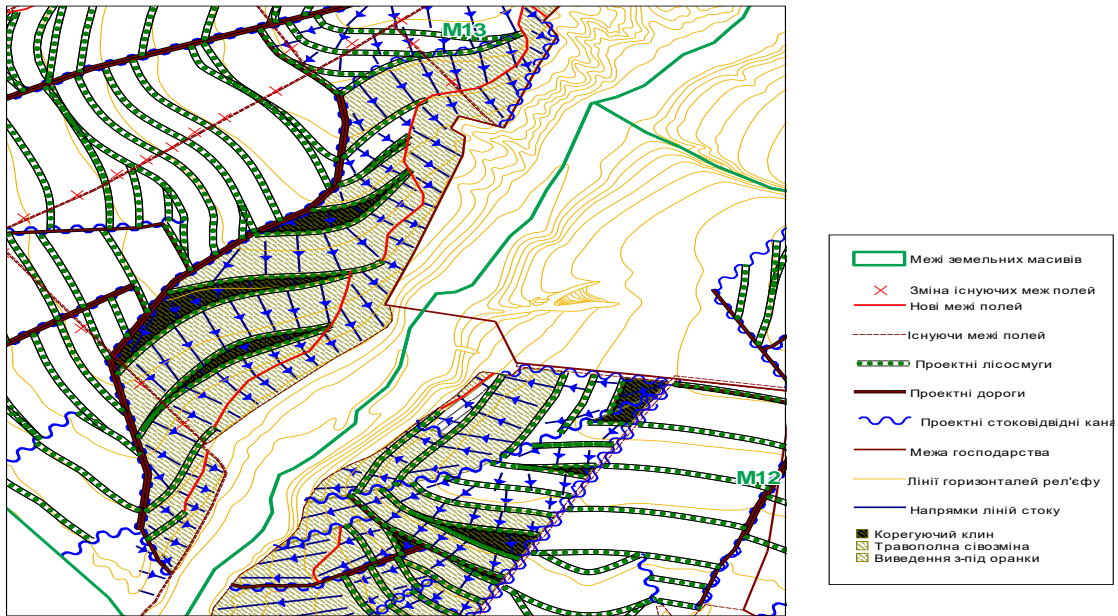
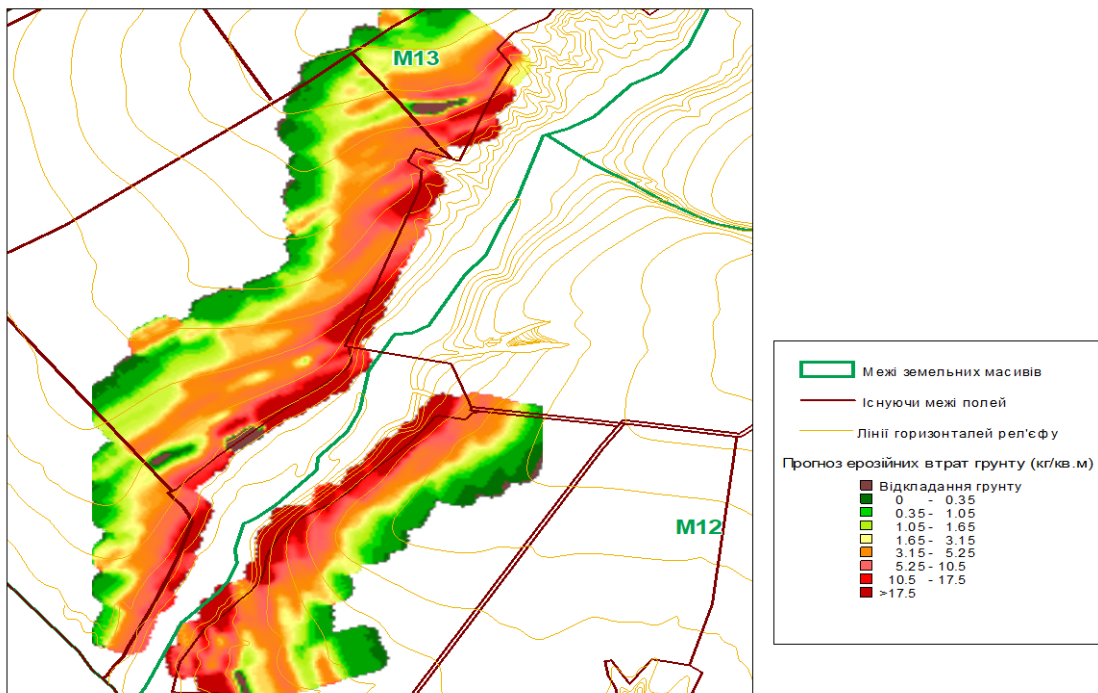


Рис. 4. Напрямки стоку за існуючого розміщення угідь

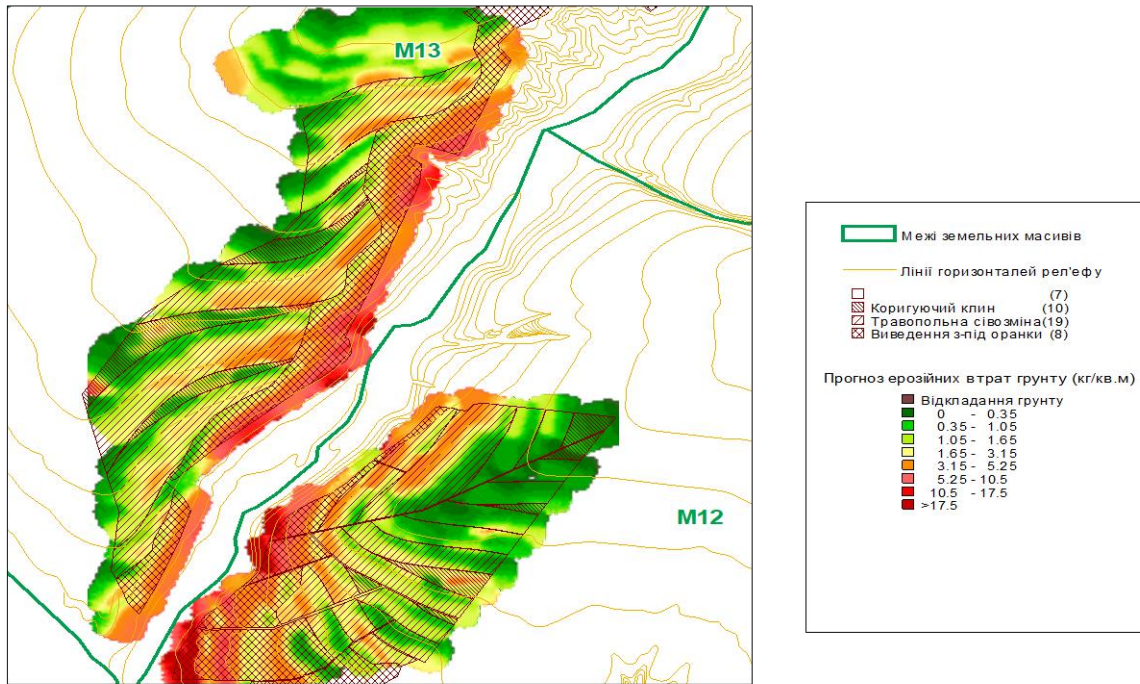


**Рис. 5. Напрямок ліній стоку за впровадження проекту реорганізації території**



**Рис. 6. Прогноз ерозійної небезпеки за існуючого розміщення угідь**





**Рис. 7. Прогноз ерозійної небезпеки за реорганізації угідь**

Сумарні результати прогнозу надходження стоку та змиву до ріки Гнилушка наведені у табл. 2 та 3. Слід зауважити, що за отримання прогнозу ґрунтоерозійних втрат для означеного фрагменту території розрахунки для частки лівобережної території не виконувалися зовсім, що звичайно негативно вплине на достовірність загального прогнозу. Це обумовлено особливостями території. Як видно з рис. 4 і 5, на спеціально поміченій частині території розміщуються яруги, тоді як згідно з обмеженнями моделі WEPP, вона не дозволяє отримати прогноз для постійних яруг в силу різниці фізичного обґрунтування та математичного описання ерозійних процесів, що відбуваються у разі поверхневого стоку та за яружно-балкової ерозії.

**2. Прогнозні значення ерозійних втрат ґрунту з ділянок за існуючого обладнання території**

Ідентифікатор ділянки	Розрахункова площа ділянки, га	Сумарний змив ґрунту, т	Сумарне відкладання ґрунту, т	Сумарні втрати ґрунту, т
12-5	34,4	2510	9,02	2501
12-6	19,1	1305	-	1305
13-7	141,8	8370	77,94	8292

### 3. Прогнозні значення ерозійних втрат ґрунту з ділянок за ґрунтозахисної реорганізації території

Ідентифікатор ділянки	Розрахункова площа ділянки, га	Сумарний змив ґрунту, т	Сумарне відкладання ґрунту, т	Сумарні втрати ґрунту, т
12-5	52,3	1872	2,10	1870
12-6	23,1	780	-	780
13-7	117,1	3821	0,03	3821

**Висновки та перспективи.** Кількісна оцінка двох серій прогнозних розрахунків для умов існуючого розміщення угідь та у випадку впровадження проекту ґрунтозахисного облаштування території з використанням моделі ерозії WEPP та спеціалізованого програмного забезпечення показала, що у разі випадіння зливи 10 %-ої забезпеченості обладнання території лісосмугами та стоковідвідними спорудами дозволяє значно знизити ерозійну небезпеку, навіть в умовах чорного пару.

#### References

1. Bulyhin, S. YU., Vitvits'kyi, S. V. (2017). Okhorona gruntiv v ahrolandshaftakh.[Soil protection in agricultural landscapes]. Kyiv: NUBiP Ukrayiny. 2017. 442.
2. Natsional'na dopovid' pro stan rodyuchosti gruntiv. [National report on soil fertility]. Kyiv: Minahropolityky. (2010). 33-36.
3. Voloshchuk, M. D. (2018) Suchasnyy stan ta problemy okhorony gruntiv vid eroziyi. [Current state and problems of soil protection against erosion]. Naukovyy zbirnyk KHNAU, spets. vypusk do KHI z"yizdu gruntoznavtsiv ta ahrokhimikiv Ukrayiny. kn. 2.94-95.
4. Bulyhin, S. YU., Pikovska, O. V. (2015). Otsinka zbytkiv vid dehradatsiynykh protsesiv u gruntakh Ukrayiny. [Assessment of losses degradation processes in the soil of Ukraine]. Naukovyy visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrayiny. Seriya «Ahronomiya» Kyiv.: VTSNUBIP Ukrayiny. Vyp. 210, ch. 1. 165-175.
5. Bulyhin, S. YU., Vitvits'kyi, S. V. (2016). Monitorynh i otsinka yakosti gruntiv ta zemel'. [Monitoring and evaluation of soil and land quality]. Kyiv: NUBiP Ukrayiny, 422.
6. Achasova, A. O. (2018). Otsinka ryzyku vodnoyi eroziyi gruntiv yak peredumova rozrobky proektiv protyeroziynoho zakhystu terytoriyi.[ Assessment of the risk of water erosion of soils as a prerequisite for the development of projects for anti-erosion protection of the territory]. Naukovyy zbirnyk KHNAU, spets. vypusk do KHI z"yizdu gruntoznavtsiv ta ahrokhimikiv Ukrayiny, 2, 92-93.
7. Flanagan, D. C., Ascough II, J. C., Nearing, M. A. and Laflen, J. M. (2001). Chapter 7: The Water Erosion Prediction Project (WEPP) Model. In (R.S. Harmon and W.W. Doe III, eds.): Landscape Erosion and Evolution Modeling. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA. 51 pp.
8. P'yatkova, A. V. (2018). Heoinformatsiyne modelyuvannya eroziynykh vtrat gruntiv yak vazhlyva lanka oblashtuvannya eroziyno-nebezpechnykh landshaftiv. [Geoinformation modeling of soil erosion as an important link for the erosion-

hazardous landscapes]. Naukovyy zbirnyk KHNAU, spets. vypusk do KHI z"yizdu gruntoznatsiv ta ahrokhimikiv Ukrayiny, 2, 118-119.

9. Timchenko, D. O., Kolyada, V. P., Kruhlov, O. V., Achasova, A. O., Nazarok, P. H. (2018). Perspektyvni napryamy naukovykh doslidzhen' u sferi okhorony gruntiv vid eroziyi v Ukrayini.. Naukovyy zbirnyk KHNAU, spets. vypusk do KHI z"yizdu gruntoznatsiv ta ahrokhimikiv Ukrayiny, 2, 131-132.

## **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭРОЗИОННОЙ ОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ**

**С. Ю. Булыгин, С. В. Витвицкий**

**Аннотация.** Главной причиной деградации агроландшафтов выступает эрозия почв, последствия которой на протяжении последних десятилетий приобрели угрожающих экологических размеров и нанесли значительные экономические потери сельскохозяйственному производству.

Эрозия почв – результат сложного взаимодействия природных факторов и хозяйственной деятельности человека. При этом последняя в большинстве случаев есть главной причиной и ведущим фактором эрозии.

Объектом исследований был почвенный покров Печенежского ландшафтного парка «Печенежское поле», на территории которого проводятся специальные почвозащитные мероприятия: формирование полевых лесополос, стокоотводящих каналов, вывод части территории из-под пашни, использование травопольных севооборотов.

Целью исследований было установление размеров возможных эрозионных потерь почвы с территории для дальнейшего определения поступления смытой почвы в реку Гнилушка, проведение сравнительной оценки имеющейся эрозионной опасности и опасности при условии противоэрозионного оборудования территории, проверка и доработка методики количественной оценки потерь почвы и загрязнения водоемов вследствие эрозии почв.

В статье приведены результаты двух серий прогнозных расчетов для условий существующего размещения угодий и в случае внедрения проекта почвозащитного обустройства территории. Количественная оценка с использованием модели эрозии WEPP и специализированного программного обеспечения показала, что при выпадении ливня 10 %-й обеспеченности оборудование территории лесополосами и стокоотводящими сооружениями позволяет значительно снизить эрозионную опасность, даже в условиях черного пара.

**Ключевые слова:** водная эрозия, эрозионная опасность, эрозионные потери, модель эрозионных процессов, почвозащитный агроландшафт

## QUANTITATIVE EVALUATION OF THE EROSION DANGER OF AGRICULTURAL LANDS

S. Yu. Bulygin, S. V. Vitvitsky

**Abstract.** *The main reason for the degradation of agricultural landscapes is soil erosion, the consequences of which over the past decades have become threatening ecological dimensions and caused significant economic losses to agricultural production.*

*Soil erosion is the result of a complex interaction of natural factors and human economic activity. In this case, the latter in most cases is the main cause and leading factor of erosion.*

*The object of research was the soil cover of the Pechenezhsky Landscape Park "Pechenezhskoye Pole", the territory of which is equipped with special soil protection measures: forest shelter belts, drainage channels, withdrawal of part of the territory from under arable land, the use of grassland crop rotations.*

*The purpose of the research was to establish the extent of possible erosion losses of soil from the territory in order to further determine the flow of washed-off soil into the river Gnilushka, to conduct a comparative assessment of the existing erosion hazard and danger subject to the anti-erosion equipment of the territory, to check and refine the methodology for quantifying soil loss and water pollution due to erosion soils.*

*The article presents the results of two series of predictive calculations for the conditions of the existing allocation of land and in the case of the implementation of the project for the conservation of the territory. Quantitative assessment using the WEPP erosion model and specialized software showed that with a rainfall of 10% sufficiency, equipping the territory with forest belts and drainage structures can significantly reduce the erosion hazard, even in black steam conditions.*

**Keywords:** *water erosion, erosion danger, erosion losses, model of erosion processes, soil-protective agrolandscape*