

УДК 631.4:551.3

М. В. КУЦЕНКО, канд. геогр. наук., доц.
Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О. Н. Соколовського НААН»
вул. Чайковська, 4, Харків, 61024, Україна
kucenko_nikolay@mail.ru

МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКУ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЛЯХ

Запропоновано метод мінімізації ризику ерозії за рахунок такого розміщення сільськогосподарських культур на технологічних ділянках, яке максимальною мірою компенсує ерозійну небезпеку цих ділянок ґрунтозахисними властивостями сільськогосподарських культур. В основу методу покладено розподільчу задачу оптимізації, адаптовану до низки послідовних дискретних рішень. Розроблено ГІС-технологію інформаційного забезпечення таких задач. Метод дає можливість в автоматизованому режимі здійснювати оптимальний розподіл сівозмін між конкретними земельними ділянками, з урахуванням просторової диференціації ерозійної небезпеки. Наведено результати реалізації методу у вигляді картограм оцінки ерозійної небезпеки та оптимального розміщення сівозмін, що забезпечує мінімальний ризик ерозії.

Ключові слова: сільськогосподарські землі, ризик ерозії, мінімізація, сільськогосподарські культури, землевпорядкування, картографування

Kutsenko N. V. MINIMIZING WATER EROSION RISK ON AGRICULTURAL LANDS

This article offers a method to minimize the risk of erosion due to such distribution of agricultural crops on technological areas, which compensates erosion hazard of these areas by soil protection properties of agricultural crops. The method is based on distribution task of optimization, adapted to the chain of sequence discrete solutions. GIS technology for informational support of such problems is developed. The method makes it possible to implement an automated optimal distribution of rotations between specific plots of land, taking into account the spatial differentiation of erosion hazard. The paper presents the results of the method as mapping of erosion hazard assessment and optimal location of crop rotations, which ensures minimal risk of erosion.

Key words: agricultural lands, erosion risk, minimization, agricultural crops, land management, mapping.

Куценко Н. В. МИНИМИЗАЦИЯ РИСКА ВОДНОЙ ЭРОЗИИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

В статье предложен метод минимизации риска эрозии за счет такого распределения сельскохозяйственных культур на технологических участках, которое максимально компенсирует эрозионную опасность этих участков почвозащитными свойствами сельскохозяйственных культур. В основу метода положена распределительная задача оптимизации, адаптированная к цепочке последовательных дискретных решений. Разработана ГИС-технология информационного обеспечения таких задач. Метод дает возможность в автоматизированном режиме осуществлять оптимальное распределение севооборотов между конкретными земельными участками, с учетом пространственной дифференциации эрозионной опасности. Приведены результаты реализации метода в виде картограм оценки эрозионной опасности и оптимального размещения севооборотов, которое обеспечивает минимальный риск эрозии.

Ключевые слова: сельскохозяйственные земли, риск эрозии, минимизация, сельскохозяйственные культуры, землеустройство, картографирование

© Куценко М. В., 2015

Вступ

Постановка проблеми. Головна закономірність формування ерозійно-стійких агроландшафтів полягає у можливості достатнього опору ґрунтово-рослинного покриву сільськогосподарських земель з конкретними ґрунтозахисними властивостями ерозійній потужності водних потоків. Тому для ефективної охорони ґрунтів від ерозії необхідно розробити метод оптимального використання ґрунтозахисних властивостей сільськогосподарських рослин шляхом їх раціонального розміщення в межах наперед заданих технологічних ділянок. Це дасть змогу звести до мінімуму ризик ерозії шляхом впровадження найбільш дешевого організаційного заходу захисту ґрунтів від ерозії. Для підвищення ефективності захисту ґрунтів від ерозії важливо оптимально використовувати протиерозійні властивості всіх сільськогосподарських рослин.

Проблема ускладнюється тим, що ерозійні процеси проявляються у просторі диференційовано, а сільськогосподарські культури розміщують дискретно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Головна закономірність формування ерозійно-стійких агроландшафтів полягає у можливості достатнього опору ґрунтово-рослинного покриву з конкретними ґрунтозахисними властивостями ерозійній потужності водних потоків [1]. З метою ґрунтозахисного впорядкування сівозмін в методичних рекомендаціях [2] запропоновано здійснювати протиерозійну типізацію орних земель за технологічними групами [3], що передбачає виділення на ріллі трьох технологічних груп земель за кутами нахилу: I – до 3^0 , II – $3 - 7^0$, III – понад 7^0 і визначення для них ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур. На землях I групи рекомендується вирощування районованих сільськогосподарських культур за інтенсивними технологіями, включаючи просапні. На землях II групи

рекомендується проектування зерно-трав'яних та ґрунтозахисних сівозмін з виключенням розміщення чорного пару. Землі III технологічної групи рекомендується виключати з інтенсивного використання. Типізація земель за технологічними групами в залежності від кутів нахилу має важливе значення для регулювання антропогенного навантаження зворотно пропорційно крутості рельєфу. Але таке регулювання не враховує довжини схилів, площі водозборів улоговин, існуючі полезахисні лісові смуги та інші протиерозійні рубежі, які істотно впливають на ерозійну небезпеку земель і не дозволяє досягти просторової диференціації щільності протиерозійних заходів адекватної реальній ерозійній небезпеці ріллі. Відомі агротехнічні прийоми та способи захисту земель від ерозії носять загальний характер і інколи суперечать економічним інтересам [4]. Однаковий за товщиною змитого шару об'єм ерозії веде до різних втрат родючості на ґрунтах різної еродованості. Чим більше еродованість ґрунту тим меншими є такі втрати [5]. Для незмитих та слабо змитих ґрунтів норми змиву є істотно меншими ніж для середньо- та сильно змитих [6]. З іншого боку, сільськогосподарські землі призначено для зрощування продукції, яка дає максимальний економічний прибуток, а не для охорони їх від ерозії, а сільськогосподарські культури характеризуються різними коефіцієнтами ерозійної небезпеки [7]. Тому дуже важливо для захисту ґрунтів від ерозії оптимально використовувати протиерозійні властивості не тільки ґрунтозахисних, а й всіх сівозмін.

Мета статті – розроблення універсального методологічного підходу до оптимального ґрунтозахисного розподілу сільськогосподарських культур на конкретних технологічних ділянках, розташованих на ускладненому рельєфі.

Результати дослідження

Загальну послідовність вирішення задачі показано на рисунку 1. В основу інформаційного забезпечення задач мінімізації ризику ерозії покладено векторну структурну цифрову модель рельєфу (ВСЦМР) [10]. Після складання ВСЦМР здійснюють оцінку ерозійної небезпеки земель у 1-му

наближенні, що передбачає врахування ерозійних параметрів ґрунту за довідковими даними. У подальшому здійснюють калібрування моделі за формулою [11]:

$$I_e = \frac{v}{v_p} = K_s (FI)^{0,4} J^{0,3} \quad (1)$$

де K_s – коефіцієнт калібрування моделі, що об'єднує ерозійні властивості ґрунтів певної земельної ділянки; F – площа водозбору, м²; I – інтенсивність зливи, м/с; J – ухил схилу.

Ерозійні рівчаки починаються в місцях, де фактична швидкість водних потоків починає дорівнювати розмивній, тобто значення I_e дорівнює 1,0. Тому коефіцієнт K_s

розраховують шляхом визначення інтенсивності зливи (I , м/с), ухилу схилу (J) та площі водозбору, що замикається створом постійної ширини 10 м (F , м²) у вершині ерозійного рівчака (для якої $I_e = 1,0$) за формулою:

$$K_s = \frac{1}{(FI)^{0,4} J^{0,3}} \quad (2)$$



Рис. 1 – Послідовність мінімізації ризику ерозії за рахунок використання ґрунтозахисних властивостей сільськогосподарських культур

Для ерозійно-безпечного впорядкування сівозмін у просторі необхідно провести локальне протиерозійне зонування земель [12]. Для цього, за довідковими даними, розраховують значення коефіцієнта ерозійної небезпеки для кожної сільськогосподарської культури, які наведено в таблиці 1 [13]. Протиерозійне зонування земель здійснюють шляхом креслення у

Mapinfo картограми ерозійно-безпечних земель для запланованих сівозмін і вибору у вікні SQL Select з шару значень індексу ерозійної небезпеки для ріллі за умовою:

$$(K_P K_s (FI)^{0,4} J^{0,3})_i \leq 1,0, \quad (3)$$

де i – номер сівозміни з коефіцієнтом ерозійної небезпеки K_{pi} . При цьому легенду картограми представляють значеннями цих

коефіцієнтів, а максимально допустиме значення коефіцієнта ерозійної небезпеки ґрунтозахисної сівозміни та її склад розра-

ховують шляхом послідовних наближень за умовою (2).

Таблиця 1

Коефіцієнти ерозійної небезпеки сільськогосподарських культур

Культура	Коефіцієнт ерозійної небезпеки по місяцях протягом вегетаційного періоду							В середньому
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Пар	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Озимі на зерно	0,40	0,25	0,15	0,15	0,30	0,80	0,40	0,35
Озимі на зелений корм	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80
Горох	1,00	0,25	0,20	0,15	1,00	1,00	1,00	0,66
Ячмінь ярий	0,70	0,25	0,20	0,15	0,30	1,00	1,00	0,51
Овес	0,70	0,25	0,20	0,15	0,30	1,00	1,00	0,51
Соняшник	1,00	0,95	0,80	0,75	0,60	0,60	1,00	0,81
Кукурудза на силос	1,00	0,95	0,80	0,70	0,55	1,00	1,00	0,86
Кукурудза на зерно	1,00	0,95	0,80	0,75	0,60	0,60	1,00	0,81
Буряк	1,00	0,95	0,80	0,80	0,70	0,80	1,00	0,86
Ячмінь з підсівом багаторічних трав	0,70	0,25	0,20	0,15	0,15	0,10	0,10	0,24
Багаторічні трави 1-го року	1,00	0,90	0,90	0,80	0,50	0,20	0,10	0,63
Багаторічні трави 2-го та 3-го років	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Соя	1,00	0,90	0,40	0,40	0,40	1,00	1,00	0,73
Ріпак ярий	1,00	0,40	0,20	0,20	0,25	1,00	1,00	0,58
Картопля	1,00	0,95	0,80	0,80	0,70	0,80	1,00	0,86

Протиерозійне зонування доцільно використовувати у ході проектування просторового розміщення сівозмін в господарстві в цілому і визначення загальних потреб у протиерозійних заходах. Оскільки ерозійна небезпека за суттю носить диференційований характер, а вибір ділянок для оптимального зрощування культур є дискретним, то виникає проблема неоднозначності ґрунтозахисного вибору ділянок – відповідна сільськогосподарська культура чи сівозміна. Окрім того ерозійно безпечних земель не вистачає для вирощування запланованих сільськогосподарських культур. Звідси виникла потреба в розробленні алгоритму ґрунтозахисного розподілу сівозмін на конкретних технологічних ділянках з метою мінімізації ризику ерозії.

Задачу мінімізації ризику ерозії за допомогою використання протиерозійних властивостей сільськогосподарських культур запропоновано вирішувати за цільовою функцією:

$$f_{\min} = \sum_{j=1}^m K_i P_j x_{ij}, \quad (4)$$

при врахуванні обмежень:

$$x_{ij} \leq S_j;$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = S_i; \quad (6)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (7)$$

де: f_{\min} означає мінімальне значення площ ерозійно-небезпечних земель, га; j – номер технологічної ділянки; i – номер сільськогосподарської культури або сівозміни; K_i – коефіцієнт ерозійної небезпеки сільськогосподарської культури (сівозміни) i ; P_j – імовірність ерозії для умов чорного пару на ділянці j ; x_{ij} – площа i -ї сільськогосподарської культури (сівозміни) в межах j -ї ділянки, га; S_j – площа j -ї технологічної ділянки, га; S_i – запланована під культуру (сівозміну) i площа, га.

Розрахунок P_j здійснюють за формулою Ларіонова – Краснова [8]:

$$P = \frac{1}{1 + 10^{\frac{4(1 - \frac{v_d}{v_{d0}})}{v_{d0}}}}, \quad (8)$$

де v_d – швидкість водного потоку на висоті виступів шорсткості, м/с; v_{d0} – порогова швидкість потоку на висоті виступів

шорсткості, м/с. Пороговою називають таку швидкість, за якою у 50 % випадків струмені потоку діють на частинки із силою, що дорівнює або перевищує їхній опір до відриву. Індекс ерозійної небезпеки земель визначають формулою [9]:

$$I_e = \frac{v}{v_p}, \quad (9)$$

де: I_e - індекс ерозійної небезпеки; v – середня швидкість водного потоку; v_p – розмивна швидкість водного потоку, м/с. Таким чином індекс ерозійної небезпеки є параметром формули (5).

З урахуванням залежностей (5) - (6) формула розрахунку ризику ерозії сільськогосподарських земель має вигляд:

$$P = \frac{1}{1 + 10^{4(1-I_e)}} \quad (10)$$

З метою практичної реалізації методу мінімізації ризику ерозії розроблено ГІС-технологію, яка включає базу даних (БД), Mapinfo, Excel, комп'ютерні модулі оцінки ерозійної небезпеки та обміну даних БД з Mapinfo та Excel.

Послідовність вирішення задач мінімізації ризику ерозії за допомогою використання протиерозійних властивостей сільськогосподарських культур наступна.

1. За допомогою приладу GPS визначають координати меж досліджуваної території.

2. У географічній інформаційній системі Mapinfo роблять географічну прив'язку електронної топографічної карти масштабу 1 : 10000.

3. Креслять лінії стоку за допомогою команди Polyline від вододільної до базисної точки, з фіксацією точок їх перетину з горизонталями. Сусідні лінії стоку вводять проти годинникової стрілки. Лінії стоку вводять у межах кожної суцільної ділянки водозбірного басейну до тих пір, поки перепад висот між початковими точками сусідніх ліній стоку не перевищуватиме перепад висот між сусідніми точками лінії стоку, або наступна ділянка, що підлягає діагностиці буде розташована в просторовому розриві з попередньою. У випадках, що суперечать цим вимогам, до ТАВ-файлу вводять ознаку початку нової ділянки водозбірного басейну. Необхідність такого введення інформації обумовлена вимогами до автоматичної побудови векторної структурної

цифрової моделі рельєфу, яка є інформаційною основою протиерозійного зонування земель.

4. Протиерозійні рубежі креслять у довільній послідовності також за допомогою команди Polyline.

5. Креслять технологічні ділянки в довільній послідовності за допомогою команди Polygon і проводять їх нумерацію..

6. Для подальших математичних розрахунків шари, що містять географічну інформацію, зберігають у проекції Universal Transverse Mercator (WGS 84), в якій координати точок представлено в метрах.

7. Дані MIF-файлів, що містять інформацію про рельєф, зберігають у вигляді векторної структурної цифрової моделі рельєфу (ВСЦМР) – системи TXT-файлів, що містять структурно впорядковані координати точок ліній стоку та висоти рельєфу.

У вершинах ерозійних рівчаків, що утворились внаслідок зливи певної інтенсивності I , значення індексу ерозійної небезпеки земель дорівнює 1,0. Це дає можливість проводити калібрування моделі оцінки ерозійної небезпеки шляхом розрахунку значень коефіцієнту K_s для чорного пару [8].

8. Після проходження потужної зливи визначають за допомогою плювіографу її інтенсивність, а за допомогою GPS – координати вершин ерозійних рівчаків, обумовлених цією зливою.

9. За допомогою ВСЦМР розраховують коефіцієнт K_s для чорного пару ($K_p = 1$)

10. Визначають склад сільськогосподарських культур у сівозмінах на досліджуваній території.

11. За довідковими даними розраховують середні впродовж вегетаційного періоду значення коефіцієнта ерозійної небезпеки для кожної із запланованих сільськогосподарських культур (див. табл. 1)

12. Здійснюють диференційовану за точками регулярної мережі та узагальнену за технологічними ділянками оцінку ризику ерозії земель господарства за умов чорного пару та зберігають картограми й легенди такої оцінки до бази даних (рис. 2).

13. Одночасно зі складанням картограм узагальненої оцінки ерозійної небезпеки земель у Excel автоматично створюється та зберігається таблиця для постановки розподільчої задачі оптимізації (4) – (7) для сівозміни з максимальним значенням

коефіцієнту ерозійної небезпеки (табл. 2). До цієї таблиці вводять цільову функцію (4) та обмеження (5) – (7) і здійснюють рішення задачі з розподілу зазначеної сівозмін на технологічних ділянках.

14. З картограми, що використовують для вирішення розподільчої задачі, вилучають ділянки, закріплені за сільськогосподарською сівозмінною на 1-му кроці оптимізації. Проводять нову нумерацію ділянок, що залишилися.

15. Якщо кількість запланованих сівозмін більше 2, то здійснюють рішення для наступної сівозмін з найбільшим коефіцієнтом ерозійної небезпеки.

16. Після остаточного рішення креслять картограму оптимального розміщення сільськогосподарських культур на ділянках.

17. Для остаточного визначення протиерозійних заходів здійснюють оцінку ерозійної небезпеки з урахуванням цих культур (рис. 3).

Таблиця 2

До постановки задачі мінімізації ризику ерозії

	A		C	D	E
1	Номери ділянок		1	2	3
2	Площі ділянок, га		20.36	12.49	25.27
3	Польова сівозмінна № 1	0,64	0.45	0.26	0.44
4	Площі сівозмінні №1, га	1500	0	0	0
5	Доданки цільової функції		=C3*C4	=D3*D4	=E3*E4
6	Площі ділянок під сівозмінною №1, %		=C4*100/C2	=D4*100/D2	=E4*100/E2

Висновки

Внаслідок значної просторової диференціації ерозійних процесів, з одного боку, та необхідності приймати дискретні рішення в межах конкретних технологічних ділянок (стосовно використання їх у сівозмінних, вибору оптимальних напрямків основного обробітку, тощо) - з іншого, для адекватного ерозійній небезпеці регулювання антропогенного навантаження необхідно здійснювати репрезентативну диференційовану та узагальнену оцінку ризику ерозії земель. Локальне протиерозійне зонування земель дозволяє проводити оптимальну ґрунтозахисну оптимізацію структури сівозмін та їх раціональний ґрунтозахисний розподіл у межах конкретних сільськогосподарських підприємств. У ході такого зонування передбачено кількісне обґрунтування площі і

складу ґрунтозахисних сівозмін, здатних застерегти прискорену ерозію та зберегти родючість ґрунту. З метою мінімізації ризику ерозії доцільно розподіляти сільськогосподарські культури та сівозмінні між технологічними ділянками таким чином, щоб їхні ґрунтозахисні властивості максимальною мірою компенсували ерозійну небезпеку ріллі. Запропонований в статті методичний підхід до мінімізації ризику ерозії можна широко використовувати для ерозійно-безпечного розподілу сільськогосподарських культур і сівозмін на конкретних технологічних ділянках з метою найбільш економічного збереження родючості ґрунтів за рахунок оптимального використання ґрунтозахисних властивостей всіх сільськогосподарських культур.

Література

1. Каштанов А.Н. Агроекологія почв склонов [Текст] / А.Н. Каштанов, В.Е. Евтушенко. – М.: Колос, 1997. – 240 с.
2. Наказ 02.10.2013 № 396 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розроблення проектів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозмін та впорядкування угідь» [Текст] // Землевпорядний вісник. – 2013. - № 10. – С. 52 – 63.

3. Моргун Ф.Т. Почвозащитное земледелие [Текст] / Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикила, А.Г. Тарарико. К.: «Урожай», 1988. – 256 с.
4. Зональні методичні рекомендації із захисту ґрунтів від ерозії [Текст] / Ситник В.П., Безуглий М.Д., Заришняк А.С. та ін. – Х.: ННЦ «ІГА ім. О.Н.Соколовського», 2010. – 148 с.

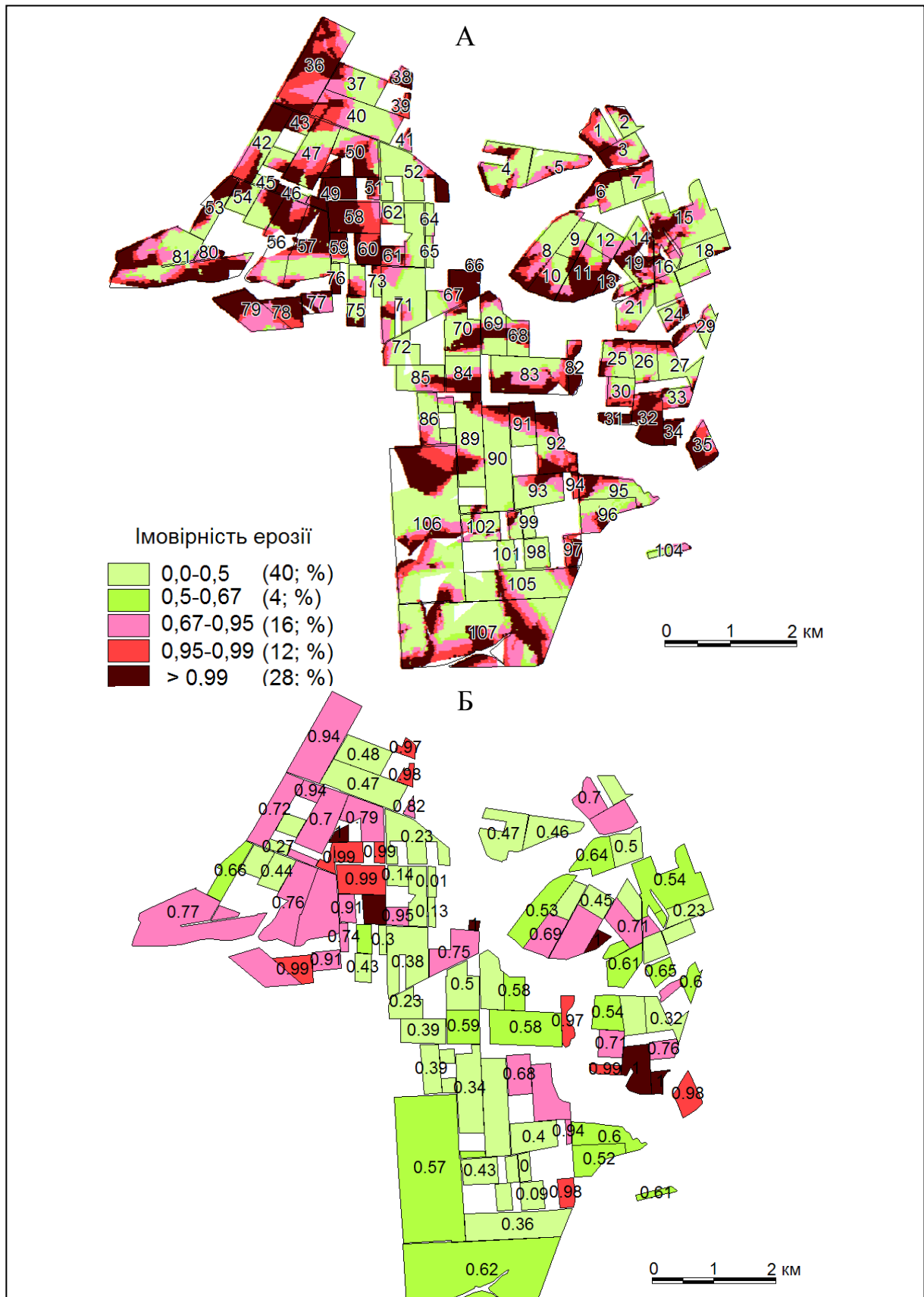


Рис. 2 – Диференційована (А) та узагальнена (Б) для технологічних ділянок оцінка ризику ерозії земель для умов чорного ґрунту



Оптимальні ділянки для: 1 - польової № 1; 2 - польової № 2; 3 – кормової сівозміни

Рис. 3 – Розміщення сівозміни, що забезпечує мінімальний ризик ерозії

5. Эколого-экономические проблемы сельскохозяйственного производства [Текст] / Под ред. О. Ф. Балацкого. – К.: Урожай, 1992. – 144 с. 6. Світличний О.О. Основи ерозієзнавства [Текст] / О.О. Світличний, С.Г. Чорний. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 266 с.

7. Справочник по почвозащитному земледелию [Текст] / Под ред. И. Н. Безручко, Л. Я. Мильчевской. – К.: Урожай, 1990. – 280 с.

8. Ларионов Г.А. Вероятностная модель размыва почв и связанных грунтов [Текст] / Г.А. Ларионов, С.Ф. Краснов // Почвоведение, 2000, № 2. – С. 235 – 242.

9. Куценко М.В. Геосистемні основи регулювання ерозійно-аккумулятивних процесів: геоморфосистемний аспект [Текст]. – Х.: КП «Міська друкарня», 2012. – 320 с.

10. Пат. 79888. Україна. МПК⁵¹ А01В 13/16 Спосіб картографування ерозійної небезпеки схилівих земель / Куценко М.В.; заявник і власник Національний науковий центр «Інститут ґрунтоз-

навства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»: - № у 2012 10408; заявл. 03.09.2012; опубл. 13.05.2013. Бюл. № 9.

11. Пат. 70268. Україна. МПК⁵¹ А01D 13/00 Спосіб визначення ерозійної небезпеки схилівих земель [Текст] / Куценко М.В.; заявник і власник Нац. наук. центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»: - № у 2011 11105; заявл. 19.09.2011; опубл. 11.06.2012. Бюл. № 11.

12. Пат. 95650 Україна. МПК⁵¹ А01В 13/16. Спосіб картографування ерозійної небезпеки та протиерозійного зонування земель [Текст] / Куценко М.В.; заявник і власник Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»: - № у 2014 08754 заявл. 04.08.2014; опубл. 25.12.2014. Бюл. № 24.

13. Моргун Ф.Т. Почвозащитное земледелие [Текст] / Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикуча, А.Г. Тарарико. К.: «Урожай», 1988. – 256 с.

Надійшла до редколегії 11.03.2015