



# Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.421:57.087

© 2020

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМИ ФОРМУВАННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ НА РІВНІ: СИСТЕМА БАЛКОВИХ ВОДОЗБОРІВ → БАЛКОВІ ВОДОЗБОРИ р. АЙДАР

В.О. Белоліпський<sup>1</sup>, М.М. Полулях<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії  
імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: <sup>1</sup>belolipskiy-42@ukr.net, <sup>2</sup>nick\_pol2015@ukr.net

ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-2177-8615, <sup>2</sup>0000-0002-7947-4158

Надійшла 16.07.2020

**Мета.** Оцінка екологічної ефективності схеми формування агроландшафтів на рівні: система балкових водозборів → балкові водозбори р. Айдар. **Методи.** Лабораторно-польовий, математико-статистичний, топометричний, морфологічний. **Результати.** Визначено базову ерозійно-екологічну ситуацію об'єкта досліджень. Для Степової зони розраховано рівні потенційного стоку (ПС). Побудовано Інтегральну карту класів ерозійної небезпеки ґрунтів Степу України. На рівні системи балкових водозборів р. Айдар проведено аналіз характеру впливу прогнозних і фактичних ерозійно-гідрологічних показників (витрати стоку) на розвиток ерозійно-гідрологічних процесів на ймовірнісній основі (1; 5; 10; 50%) за їх співвідношенням. На прикладі басейну р. Євсуг і Ковсуг розраховано показники розораності за ключовими водозбірними зонами вздовж течії річки з диференціацією адміністративного землекористування. Побудовано картосхему структури басейну річок Євсуг і Ковсуг у межах водозбірних зон. Проведено оцінку структури посівних площ і розораності за показником потенційного стоку: до 5 мм — незначний, 5, 1 – 8 — слабкий, 8, 1 – 15 мм — помірний, рівнями ерозійного індексу (до 3; 3 – 4; 4 – 5; понад 5) та угрупованням структури посівних площ. За симплекс-методом здійснено аналіз фактичних і прогнозних ерозійно-гідрологічних показників та оптимізацію структури посівних площ, для басейну р. Айдар отримано модельну структуру сівозмін. Екологічну оцінку структури сівозмін виконано за коефіцієнтом екологічної небезпеки сівозмін. **Висновки.** На рівні системи балкових водозборів коефіцієнт співвідношення  $K_{\text{в}}$  прогнозних і фактичних втрат стоку річки як показник розвитку ерозійно-гідрологічних процесів на ймовірніс-

ній основі (1; 5; 10; 50%) за гідропостами за течією р. Айдар, показав, що за 10% забезпеченості в разі зменшення розораності земель водозборів до рівня 50–60% високий рівень зменшення стоку (81–90%) відзначається на гідропосту Бахмутівка, середній (73–85%) — гідропостах Білолуцьк і Старобільськ, найменший — на гідропосту Курячівка (39–65%). Дослідження умісту гумусу в межах 4,5–5,5% за групами площ ріллі 40–60% виявило постійне зменшення  $Q_{\max}$  (середньомаксимальних втрат стоку) в інтервалі 8–9%. На рівні окремих балкових водозборів визначення базової ерозійно-екологічної ситуації об'єкта досліджень за інтегральною картою класів ерозійної небезпеки ґрунтів Степу України показало його приналежність до класу помірної ерозійної небезпеки зі стоком 8,1–15,0 мм.

**Ключові слова:** басейн, водозбір, гідропост, схили, гумус, стік, витрати, фактори, коефіцієнт.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202010-09>

Основною метою створення єдиної системи менеджменту водних ресурсів басейну є оптимізація водокористування, збільшення кількості придатних для використання водних ресурсів у басейні застосуванням єдиного басейнового підходу, що поєднує інтереси загальнобасейнові з адміністративно-територіальними. Сутність екосистемного басейнового підходу до керування водогосподарським комплексом полягає у перенесенні центру уваги з водних об'єктів на весь басейн і на системи балкових водозборів та окремі балкові водозбори в агроландшафті для виявлення усіх можливих причин екологічних порушень, міжгалузевих і міжетериторіальних суперечностей з метою запобігання й усунення негативних явищ [1–7].

Басейни є найбільш об'єктивною природною основою розв'язання багатьох проблем в організації раціонального природокористування [8, 9]. Ефективність і тривалість дії системи ґрунтоохоронних заходів залежить від їх відповідності ландшафтно-екологічним умовам території [10–12].

В Україні на регіональному рівні та в межах усієї площі басейнових структур не проводять практичного цілеспрямованого облаштування малих і середніх річок. Водна стратегія мінімізації ерозійних процесів в агроландшафтах на основі досліджень, проведених у басейні р. Айдар [13, 14], була використана для ґрунто-водоохоронного облаштування агроландшафтів на новому інформаційному рівні [15, 16].

**Мета досліджень** — оцінка екологічної ефективності схеми формування агроландшафтів на рівні: система балкових водозборів → балкові водозбори р. Айдар. **Об'єкт** — ґрунто-водоохоронне облаштування агроландшафтів на басейновій основі. **Предмет** — екологічна ефективність схеми формування агроландшафтів на рівні: система балкових водозборів → балкові водозбори р. Айдар.

Місцем географічних досліджень є басейн р. Айдар на території Троїцького, Ново-псковського, Білокуракинського, Марківського, Старобільського та Новоайдарського районів Луганської області; доповнення, апробацію, проведення розробки та аналіз експериментального матеріалу виконано для водозборів річок Євсуг та Ковсуг на території Новоайдарського, Старобільського, Біловодського, Станично-Луганського районів.

**Завдання досліджень:** визначити екологічну ефективність застосування схем формування агроландшафтів на водозборах; розробити протиерозійні заходи з урахуванням ерозійних індексів безпеки земель у системі балкових водозборів, приурочених до гідропостів р. Айдар; розробити протиерозійні заходи на рівні балкових водозборів на основі аналізу співвідношення структури посівних площ і потенційного стоку.

**Матеріали та методи досліджень.** У дослідженнях використано такі методичні підходи.

1. Показники витрат зливових дощів за сучасної господарської діяльності характеризуються максимальними дощовими паводками малих річок і кількісно оцінюються моделями середньо-максимальних витрат стоку річки ( $Q_{\max}$ ) різної імовірності перевищення (10; 25; 50%) — надалі використовують термін «витрати стоку річки» в системі: басейн малої річки — система балкових водозборів — балковий водозбір [13].

Керування максимальним стоком дощових паводків річки (за показником витрат стоку річки) здійснюється геоінформаційним моделюванням ерозійних процесів на основі ерозійних індексів безпеки земель у системі балкових водозборів, приурочених до гідропостів басейну малої річки [13].

2. Для визначення характеру взаємодії прогнозних (припустимих) і фактичних параметрів на розвиток ерозійно-гідрологічних процесів з метою їх мінімізації на імовірнісній основі (10; 25; 50%) за відповідних параметрів витрат стоку розраховано коефіцієнт їх співвідношення  $K_b$  (формула 1) [13].

$$K_b = \frac{Q_{10-50\text{прогноз}}}{Q_{10-50\text{факт}}} \quad (1)$$

3. Геоінформаційне моделювання ерозійних процесів у басейні річок Євсуг і Ковсуг з урахуванням структури посівних площ на басейновій основі.

Для моделювання ерозійних процесів як показник інтенсивності ерозійно-гідрологічних (ситуацій) використовують ерозійний індекс безпеки земель ( $E_i$ ) різної забезпеченості як співвідношення  $Q_{\max}$  10–50%-ої імовірності перевищення витрат стоку до середнього значення статистичного ряду спостережень  $Q_{\max}$  50%-ої імовірності за формулою 2:

$$E_i = \frac{Q_{10-50\%}}{Q_{50\%}} \quad (2)$$

де  $Q_{1-50\%}$  — середньомаксимальні витрати стоку 1–50%-ої імовірності,  $Q_{50\%}$  — середньомаксимальні витрати стоку 50%-ої імовірності, м<sup>3</sup>/с [13].

4. Екологічна ефективність застосування схеми формування агрорландшафтів на балкових водозборах.

Поставлене завдання вирішується методом лінійного програмування (симплекс-

метод), за якого вибирається цільова функція та основні змінні і система обмежень, що мають давати досить повну предметну характеристику ерозійно-гідрологічних процесів. Екологічну ефективність схеми формування агрорландшафтів розглядають на 2-х рівнях (система балкових водозборів → балкові водозбори).

На першому рівні критерієм оптимальності є коефіцієнт співвідношення фактичних і припустимих показників середньомаксимальних витрат стоку ( $K_b$ ). На другому рівні — наближення потенційного стоку до екологічно припустимого рівня — 5 мм (ПС → ЕПР) [10] за модельної структури посівних площ.

**Результати досліджень.** На рівні системи балкових водозборів для повноти екологічної оцінки екологічної ефективності застосування схеми формування агрорландшафтів проведено аналіз характеру впливу прогнозних і фактичних ерозійно-гідрологічних показників (витрати стоку в гідропостах малої річки) на розвиток ерозійно-гідрологічних процесів на імовірнісній основі (1; 5; 10; 25; 50%) через розрахунок коефіцієнта їх співвідношення  $K_b$  (формула 1) за показниками середньомаксимальних витрат стоку відповідної ймовірності, м<sup>3</sup>/с [13].

Моделі середньомаксимальних витрат стоку 10, 25, 50%-ої забезпеченості розраховують за системною залежністю (формула 3):

$$Q_{10, 25, 50\%} = A_{10, 25, 50\%} \cdot F^{0,2485} \cdot X^{1,7422} \cdot f_n^{5,3333} \times S_{\text{скл}}^{0,5194} \cdot F_{\text{гум}}^{-0,402} \cdot S_{\text{бал}}^{-0,087} \cdot S_{\text{тер}}^{-0,009} \times S_{\text{пл}}^{-0,022} \cdot S_{\text{пл}}^{-0,008}$$

де  $A_{10, 25, 50\%}$  — коефіцієнт для ймовірностей:  $A_{10\%} = 8,79 \cdot 10^{-13}$ ,  $A_{25\%} = 1,14 \cdot 10^{-14}$ ,  $A_{50\%} = 4,0 \cdot 10^{-18}$ ;  $F$  — частка площі водозбору в межах ключової ділянки;  $X$  — зливи опади, мм;  $f_n$  — розораність, %;  $S_{\text{скл}}$  — схили > 1°, %;  $F_{\text{гум}}$  — уміст гумусу, %;  $S_{\text{бал}}$  — яружно-балкова мережа, %;  $S_{\text{тер}}$  — перша тераса річки, %;  $S_{\text{пл}}$  — поперечні лісосмуги, %;  $S_{\text{пл}}$  — плато (схили до 1°), %.

Показники адекватності моделі: коефіцієнт множинної кореляції:  $R = 0,904$ , відносна помилка моделі  $E = 2,17\%$ .

Значення коефіцієнта  $K_b$  характеризує ступінь зменшення значень витрат стоку в разі зменшення розораності земель водозборів (табл. 1).

1. Співвідношення  $Q_{пр}/Q_{факт}$  різної забезпеченості за гідропостами водозбору р. Айдар

Гідропост	Розораність, %	Забезпеченість, %			
		$Q_1$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{50}$
Білолуцьк	40	0,09	0,08	0,07	0,02
	50	0,19	0,16	0,15	0,07
	60	0,31	0,29	0,27	0,16
Курячівка	40	0,20	0,18	0,17	0,08
	50	0,38	0,36	0,35	0,22
	60	0,62	0,60	0,61	0,49
Старобільськ	40	0,09	0,08	0,07	0,02
	50	0,19	0,17	0,15	0,07
	60	0,32	0,29	0,27	0,16
Бахмутівка	40	0,07	0,05	0,04	0,01
	50	0,14	0,12	0,10	0,04
	60	0,23	0,21	0,19	0,10

За 10%-ї забезпеченості витрат стоку в разі зменшення розораності земель водозборів до рівня 50–60% високий рівень зменшення стоку (81–90%) відзначено на гідропосту Бахмутівка, середній (73–85%) — на гідропостах Білолуцьк, Старобільськ, найменший — на гідропосту Курячівка (39–65%).

Спостерігається стійка тенденція до підсилення ґрунтозахисної дії зменшенням розораності за всіма гідропостами та забезпеченістю витрат стоку, що наочно виражається у зменшенні співвідношення прогнозних і фактичних показників витрат стоку, особливо вирізняється рівень 50%-ї забезпеченості.

По гідропостах за течією р. Айдар (Білолуцьк → Старобільськ → Бахмутівка) у верхній і середній частинах констатовано майже однакове співвідношення прогнозних і фактичних показників витрат стоку та його зменшення у нижній частині (Бахмутівка). Окремо таким порівняно високим співвідношенням вирізняється водозбір гідропосту Курячівка, оскільки це самостійний водозбір р. Біла з коефіцієнтом яружності  $K_{яр} = 0,95 \text{ км/км}^2$  (Білолуцьк — 0,75, Старобільськ — 0,81, Бахмутівка — 0,88 км/км<sup>2</sup>).

Дослідженням умісту гумусу в межах 4,5–5,5% за групами площ ріллі 40–60%

виявлено постійне зменшення  $Q_{max}$  в інтервалі 8–9%. Тому деталізацію мінімізації ерозійно-гідрологічного процесу потрібно розглядати при розробленні комплексу протиерозійних заходів у землеробському блоці агроландшафту за групами еродованих ґрунтів.

У блоці екологічних взаємозв'язків припустимих показників сполучень компонентів агроландшафту площі поперечних лісосугов (0,3–0,5%) сприяють незначному зниженню  $Q_{max}$  за залежністю ( $S_{лс}^{-0,022}$ ) — формула 3.

На рівні окремих балкових водозборів аналіз співвідношення структури посівних площ і потенційного стоку виконано із дотриманням таких методичних принципів:

Оцінка ерозійно-гідрологічної та екологічної ситуацій в агроландшафтах балкових водозборів. Для вирішення цього питання потрібно визначити базову ерозійно-екологічну ситуацію досліджуваних об'єктів. Це дає змогу сформуванню науково обґрунтованих генеральних схем ґрунто-водоохоронних заходів і створити функціональні моделі агроландшафту як фундаменту для елементарного проектування.

Як один із варіантів, розрахунок ПС можна виконати за формулою [10], яка для генералізованих досліджень має вигляд:

$$Q_{\text{ПС}} = 1,352 \cdot 10^{-5} \cdot R^{4,33} \cdot X_{\alpha} \cdot X_A \cdot K_{\text{ГП}} \cdot K_{\text{МП}}, \quad (4)$$

де  $R$  — ерозійний індекс дощу 10%-ої забезпеченості;  $X_{\alpha}$  — середньозважена крутість схилів за районами;  $X_A$  — середньозважений коефіцієнт стокорегулювальної ролі агрофонів відповідної структури посівних площ за районами;  $K_{\text{ГП}}$  — стокорегулювальна роль ґрунтового покриву;  $K_{\text{МП}}$  — стокорегулювальна роль меліоративних (протиерозійних) заходів.

Значення ПС визначене для кожного адміністративного району й відповідно до класифікації проведено районування за областями території Степу України з подальшим складенням інтегральної карти класів за ступенем прояву потенційного стоку (рис. 1). Картоschema є відправною ситуацією для визначення напрямів надійного захисту ґрунтового покриву.

Імовірнісна кількісна оцінка ПС дає можливість визначити ступінь потенційної небезпеки, що виникає у сучасних агро-екосистемах за певних природних умов, і є

основою прогнозу та проектування ґрунто-водоохоронних заходів.

Об'єкт наших досліджень знаходиться на південному сході України і характеризується показником ПС у межах 8–15 мм.

Легенда інтегральної карти має такий вигляд (табл. 2).

На басейновій основі протиерозійні заходи в агrolандшафтах потрібно здійснювати в динаміці й диференційовано, з урахуванням ерозійно-гідрологічної ситуації. Стратегія реалізації програми з протиерозійного облаштування агrolандшафтів ґрунтується на зміні структури посівних площ (тобто змінна  $X_A$  проектного покриття землекористування і підвищення стокорегулювальної ролі агрофонів) і передбачає такі етапи:

**1 етап. Розрахунки середньозважених показників розораності на басейновій основі з проведенням аналізу структури басейну річок.** На прикладі р. Євсуг і Ковсуг показано диференціацію адміністративного землекористування,

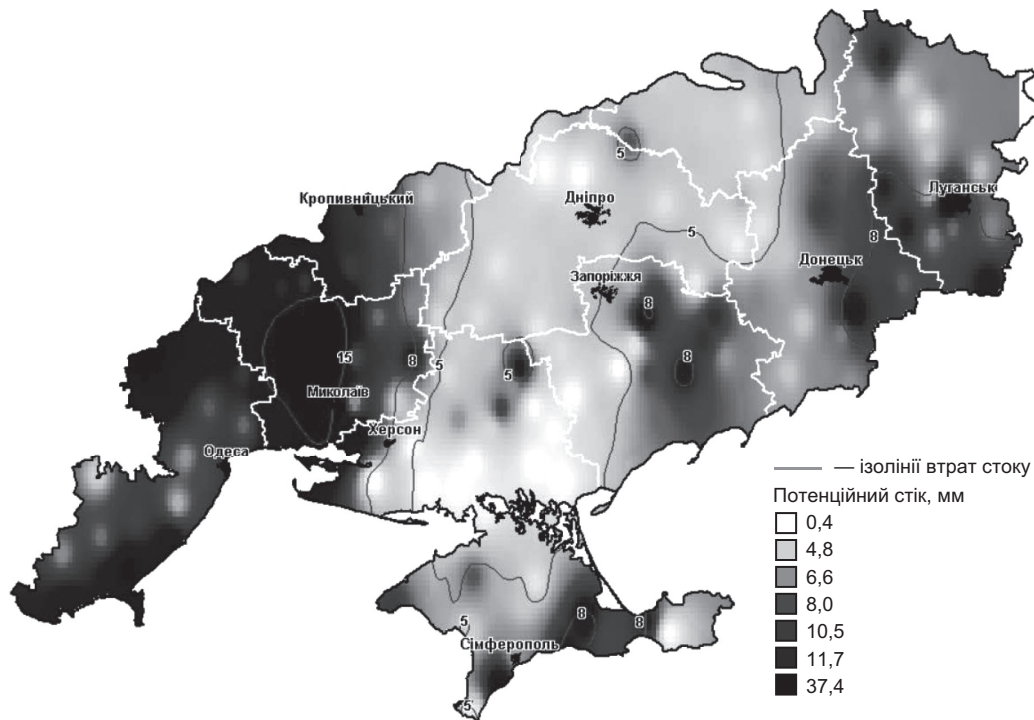


Рис. 1. Інтегральна карта класів ґрунтів з ерозійної небезпеки Степу України



## 2. Показники та їх нормування для інтегральної карти ерозійно-гідрологічного районування Степу України [10]

Чинники ерозійно-гідрологічного районування	Класи ґрунтів за ерозійною небезпекою (стік Q мм)				
	I — незначний, до 5	II — слабкий, 5,1–8,0	III — помірний, 8,1–15,0	IV — великий, 15,1–25,0	V — дуже великий, >25,0
Ерозійний індекс дощу 10%-ої забезпеченості (R)	17,5	21,0	22,5	23,5	>25
Стокорегульовальна роль ґрунтового покриву ( $K_{гп}$ )	0,81–0,95 чорноземи типові	1 чорноземи звичайні	1,2–1,4 чорноземи темно-сірі	1,45–1,5 чорноземи сірі	1,6–2,2 чорноземи дернові
Коефіцієнт стокорегульовальної ролі агрофону ( $X_n$ )	0,29 багаторічні трави	0,38 пшениця озима	0,43 колосові ярі	0,45 кукурудза	1 стерньовий пар
Середньозважена крутість схилу по району ( $X_a$ )	1°	1,3°	3,1–5°	5,1–7°	>7°
Стокорегульовальна роль протиерозійних заходів	0,11–0,25 плоскорізна обробка зі щільюванням	0,26–0,35 плоскорізна обробка з кротуванням	0,36–0,50 полицева оранка	1 плоскорізна поперек схилу	1,45–1,49 плоскорізна вздовж схилу

що відповідає ключовим водозбірним зонам уздовж течії річки (рис. 2, табл. 3). Методичний підхід, який використовують при визначенні розораності території, не суперечить басейновому принципу, тому що в ньому розглядають питання визначення середньозваженої розораності в структурі всього басейну річок Євсуг і Ковсуг із диференціацією адміністративного землекористування у водозбірних зонах річок.

Отже, інтегрована (середньозважена) розораність території, відповідно до ключових водозбірних зон, становить 69,44–71,17%.

**2 етап. Облік зміни структури посівних площ і розораності.** За період землекористування 2014–2018 рр. оцінено ґрунто-водоохоронну здатність агроландшафтів, яка чисельно виражається показником потенційного стоку: до 5 мм — незначний; 5,1–8 — слабкий; 8,1–15 мм — помірний 10%-ої забезпеченості [10].

**3 етап. Оцінка впливу структури посівних площ на потенційний стік** за рівнями ерозійного індексу (до 3; 3–4; 4–5; понад 5) та угрупованням структури посівних площ (табл. 4).

У структурі посівних площ спостерігається домінування 2-х економічно доцільних

культур — пшениці озимої (15,04–17,49%) та соняшнику (35,98–39,64%). Площі під кукурудзою становлять 9,27–11,05%, під парами — 11,89–14,47%, під ярими зерновими скоротилися до 5,38–7,77%. Площі ерозійносталіх агрофонів (багаторічні трави) — незначні (1,17–1,84%).

### 4 етап. Поліпшення ерозійно-гідрологічної ситуації через:

- застосування протиерозійних заходів у вигляді зміни способу основного обробітку ґрунту і розрахунку стокорегульовальних коефіцієнтів протиерозійних заходів агрофонів, для чого слід використовувати такі значення: чорний пар (обробіток культиватором паровим причепним — КПГ) — 0,53; озимі (поверхневий обробіток бороною дисковою важкою — БДВ) — 0,98; кукурудза (основний безполицевий обробіток) — 0,98; ярі зернові (неглибокий безполицевий обробіток) — 0,53; соняшник (обробіток КПГ) — 0,53; багаторічні трави — 0,12, інші культури (неглибокий безполицевий обробіток) — 0,53;

- переведення ріллі на схили до 3° і коректування співвідношення ріллі, кормових угідь, лісосмуг. Управління ерозійними процесами проводять за допомогою чинника  $X_a$ , через який здійснюють просторове

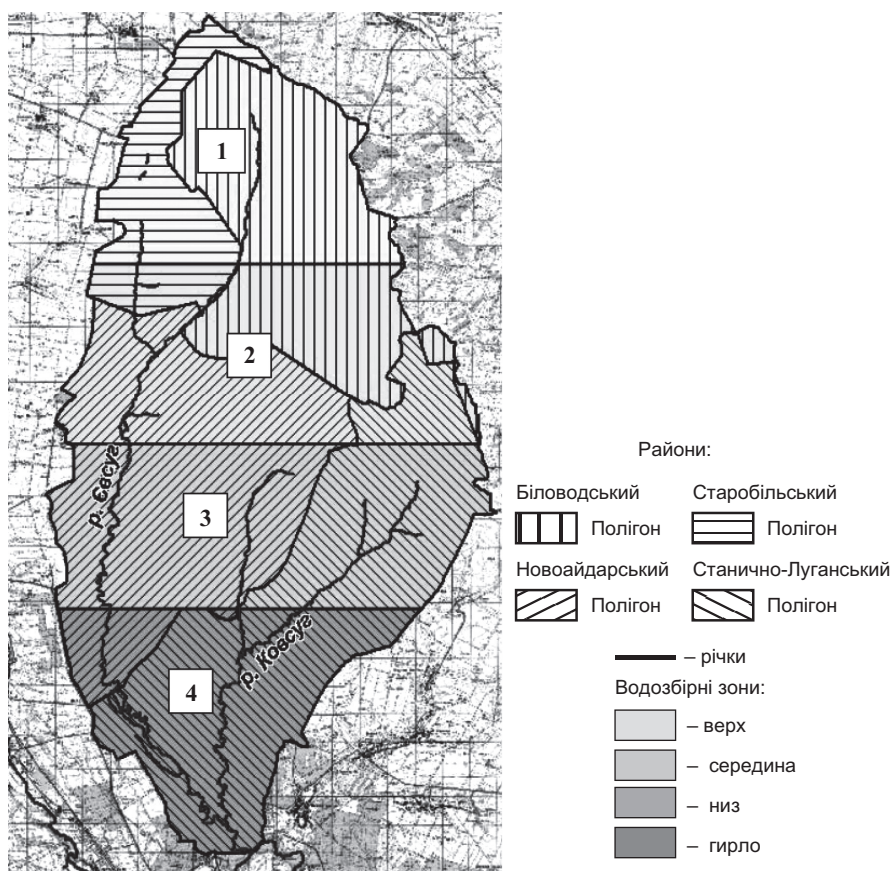


Рис. 2. Структура басейну річок Євсуг і Ковсуг у межах водозбірних зон

### 3. Розрахункова розораність площ, що відповідають ключовим водозбірним зонам

Адміністративний район	Розораність за районами, % (форма 6-зем)	Площа орних земель у ключових ділянках — водозбірних зонах, км <sup>2</sup>			
		1	2	3	4
		257,5	344,5	344,5	254,5
Старобільський	75,0	90,2	30,9	—	—
Біловодський	69,37	166,3	116,6	—	—
Новоайдарський	68,89	—	153	198,9	34,7
Станично-Луганський	71,68	—	42	142,6	215,8
Розораність середньозважена		71,07	69,54	69,44	70,17

обмеження дії  $XГ_{гп}$  (ґрунтового покриття і його еродованості).

- внутрішньопольову організацію, тобто виділення робочих ділянок паралельно-

контурно і закріплення їх рубежами постійної дії: лісосмугами нових конструкцій, гідротехнічними спорудами (вали — канали, вали — тераси). Крім того, технологічний

#### 4. Структура посівних площ за рівнями ерозійного індексу на території водозбору р. Айдар

Рівні ерозійного індексу	Площа, га	Структура посівних площ, %						
		пар	озимі	кукурудза	ярі зернові	сосяшник	багаторічні трави	інші
<3	93040	11,89	15,26	11,05	7,77	39,63	1,57	12,83
3–4	107112	13,33	15,04	11,01	7,08	36,36	1,84	15,34
4–5	198284	14,15	17,49	10,36	6,51	36,11	1,30	14,07
>5	103440	14,47	17,43	9,27	5,83	35,98	1,17	15,85

блок вирощування сільськогосподарських культур доповнюється спеціальними ґрунто-водоохоронними заходами, а кормові угіддя використовують раціонально.

• моделювання структури посівних площ для адміністративних районів території басейну (пар — 12–14%, озимі — 32–33, кукурудза — 13–17, сосяшник — 16–17, багаторічні трави — 3–4, інші культури — 2,5–6,0%).

#### 5 етап. Розв'язання завдання методом лінійного програмування.

За критерій оптимальності в лінійному програмуванні [17–19] було взято вимоги ПС → ЕПР (екологічно припустимий рівень — 5 мм) (див. табл. 2) [10, 16] за фактичної структури посівних площ (пар, озимі, кукурудза, ярі зернові, сосяшник, багаторічні трави, інші культури, %) та заданих обмежень — стокорегульовальні коефіцієнти ( $K_{КС}$  — крутості схилів,  $K_A$  — агрофону,  $K_{ПЗ}$  — протиерозійних заходів),  $R$  — ерозійний індекс опадів:

структура посівних площ:  $\%_{\text{пар}} + \%_{\text{озимі}} + \%_{\text{кукурудза}} + \%_{\text{ярі}} + \%_{\text{сосяшник}} + \%_{\text{трави}} + \%_{\text{інші}} = 100\%$ ;  $K_{КС}$  — крутість схилів:  $K_{КС1} + K_{КС2} + K_{КС3} + K_{КС4} + K_{КС5} + K_{КС6} + K_{КС7} = 16,8$ ;  $K_A$  — агрофону:  $K_{A1} + K_{A2} + K_{A3} + K_{A4} + K_{A5} + K_{A6} + K_{A7} = 0,496$ ;  $K_{ПЗ}$  — протиерозійних заходів:  $K_{ПЗ1} + K_{ПЗ2} + K_{ПЗ3} + K_{ПЗ4} + K_{ПЗ5} + K_{ПЗ6} + K_{ПЗ7} = 0,734$ ;  $R$  — ерозійний індекс опадів:  $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 = 140,7$ .

Нижче наведено формули (5–7) для обчислення стокорегульовальних коефіцієнтів (агрофону, протиерозійних заходів) та потенційного стоку [10] і вихідні дані для аналізу структури посівних площ за водозбором р. Айдар (табл. 5).

$$K_A = (1 \cdot \%_{\text{пар}} + 0,38 \cdot \%_{\text{озимі}} + 0,46 \cdot \%_{\text{кукурудза}} + 0,43 \cdot \%_{\text{ярі}} + 0,5 \cdot \%_{\text{сосяшник}} + 0,29 \cdot \%_{\text{трави}} + 0,43 \cdot \%_{\text{інші}}) / 100\%; \quad (5)$$

$$K_{ПЗ} = (0,53 \cdot \%_{\text{пар}} + 0,98 \cdot \%_{\text{озимі}} + 0,98 \cdot \%_{\text{кукурудза}} + 0,53 \cdot \%_{\text{ярі}} + 0,53 \cdot \%_{\text{сосяшник}} + 0,12 \cdot \%_{\text{трави}} + 0,53 \cdot \%_{\text{інші}}) / 100\%; \quad (6)$$

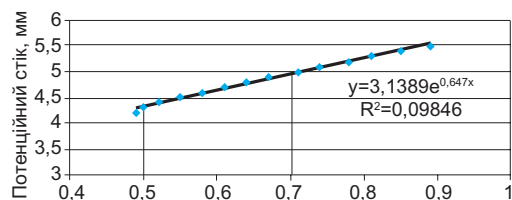
#### 5. Вихідні дані кластерного аналізу структури посівних площ за рівнем ерозійного індексу на території басейну р. Айдар

Рівень ерозійного індексу $E_i$	Структура посівних площ, 2014–2018 рр., %							Стокорегульовальні коефіцієнти				ПС, мм
	пар	озимі	кукурудза	ярі зернові	сосяшник	багаторічні трави	інші	крутість схилів	агрофон	протиерозійні заходи	$\alpha$	
до 3	11,89	15,26	11,05	7,77	39,63	1,57	12,83	2,36	0,52	0,98	21,1	9,3
3–4	13,33	15,04	11,01	7,08	36,36	1,84	15,34	2,44	0,52	0,98	21,2	10,1
4–5	14,15	17,49	10,36	6,51	36,11	1,30	14,07	2,35	0,53	0,98	19,0	6,0
>5	14,47	17,43	9,27	5,83	35,98	1,17	15,85	2,50	0,53	0,98	20,0	8,0



**6. Прогнозні ерозійно-гідрологічні показники за водозборами р. Айдар за наявної структури посівних площ (2014 – 2018 рр.)**

Структура посівних площ, %							ПС, мм
пар	озимі	кукурудза	ярі зернові	соняшник	багаторічні трави	інші	
Рівень ерозійного індексу $E_i$ до 3							
8,2–15,2	14,1–15,4	10,6–11,3	6,5–11,3	32,8–40,5	0,3–8,2	11,9–15,0	>8
5,7–7,9	8,5–13,8	6,9–10,5	11,7–15,2	12,7–31,5	9,3–37,8	14,3–16,3	5,1–8,0
4,0–6,8	6,5–8,2	5,3–6,7	10,7–13,8	9,2–12,1	39,8–52,7	10,7–13,9	<5,0
Рівень ерозійного індексу $E_i$ 3–4							
7,6–16,6	13,0–15,4	10,1–11,5	6,0–13,0	26,3–37,1	0,1–12,7	14,6–17,4	>8
5,4–7,5	8,0–12,8	6,6–10,0	13,2–15,6	11,6–25,7	13,4–41,4	13,6–17,4	5,1–8,0
4,5–6,6	7,1–7,7	5,8–6,3	12,1–13,0	9,4–11,1	43,7–48,9	11,6–13,0	<5,0
Рівень ерозійного індексу $E_i$ 4–5							
7,9–17,4	15,1–17,7	9,9–11,0	5,5–11,4	29,3–36,5	0,1–9,3	13,4–16,4	5,1–8,0
4,6–8,0	7,4–14,6	6,1–10,3	12,1–15,5	10,6–27,8	10,9–46,1	12,5–17,0	<5,0
Рівень ерозійного індексу $E_i$ >5							
14,9–17,4	17,3–17,5	8,8–9,2	4,9–5,6	36,1–36,2	0,1–0,9	15,3–15,8	>8
6,3–13,3	10,0–17,6	8,0–10,2	6,1–15,1	16,0–36,1	1,4–28,3	16,1–17,7	5,1–8,0
5,73–6,14	8,6–9,5	7,0–7,7	14,3–15,0	12,8–14,8	31,0–37,0	14,6–15,9	<5,0



**Рис. 3. Залежність потенційного стоку від коефіцієнта екологічної небезпеки сівозмін**

$$ПС = 1,352 \cdot 10^{-5} \cdot R \cdot K_{КС} \cdot K_A \cdot K_{ПЗ}. \quad (7)$$

**6 етап. Виявлення шляхів досягнення мети цільової функції** (ПС → ЕПР < 5 мм) проведено моделюванням структури посівних площ за групами прогнозних ерозійно-гідрологічних показників (>8, 5,1–8, <5 мм) за водозборами р. Айдар (табл. 6).

Доведено, що досягнення цільової функції (ПС < 5 мм) за рівнями ерозійного індексу (від 3 до >5) можливе через формування структури посівів з обмеженням посівів соняшнику до 12–15% і збільшенням багаторічних трав до 37–50%.

**7 етап. Екологічну оцінку структури сівозмін** виконано за коефіцієнтом екологічної небезпеки сівозмін ( $K_{енс}$ ),

розрахованим як співвідношення суми площ ерозійно небезпечних агрофонів (пар, кукурудза, соняшник) до площ ерозійно сталих (озимі, ярі зернові, багаторічні трави та інші).

$$K_{енс} = \frac{S_{пар} + S_{кукурудза} + S_{соняшник}}{S_{озимі} + S_{ярі} + S_{трави} + S_{інші}}. \quad (8)$$

На рис. 3 показано залежність потенційного стоку від коефіцієнта екологічної небезпеки сівозмін, яка характеризується формулою:

$$Y = 3,1389 e^{0,647x}. \quad (9)$$

Коефіцієнт кореляції  $R = 0,9923$  за такої структури сівозмін: пару 0,34–19,0, озимих — 28,64–30,4, кукурудзи — 11,68–12,99, ярих зернових — 15,27–18,88, соняшнику — 16,48–19,59, багаторічних трав — 6,3–13,0 та інших культур 2,57–6,28%.

Екологічно припустимому рівню (ЕПР) потенційного стоку до 5 мм відповідає коефіцієнт ерозійної небезпеки сівозмін  $K_{енс}$  0,49–0,67.

Отже, нами визначено раціональні способи створення системи ґрунто-водоохоронних

## 7. Комплекс протиерозійних заходів на басейновій основі [16]

Природно-антропогенний рівень басейну	Заходи управління, які відповідають ерозійно-гідрологічній ситуації			
Система балкових водозборів за гідропостами:	Диференціація ріллі залежно від $Q_{\max}$ за ймовірностями, %			
	$Q_1$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{50}$
Білолуцьк	40	50	50	60
Курячівка	40	40	40	50
Старобільськ	40	50	50	60
Бахмутівка	40	50	50	60
Балкові водозбори	Необхідність диференціації структури посівних площ за рівнями ерозійного індексу (+, –)			
	<3	3–4	4–5	>5
Білолуцьк	+	+	+	–
Курячівка	+	+	+	–
Старобільськ	–	+	+	+
Бахмутівка	–	–	+	–

заходів в агроландшафті на рівні: система балкових водозборів → балкові водозбори р. Айдар. При цьому ступінь небезпеки водно-ерозійних процесів і екологічна ситуація зумовлюють різний рівень надійності ґрунто-водоохоронних заходів (табл. 7).

В узагальненому вигляді комплекс протиерозійних заходів на басейновій основі спрямований на рівні:

- системи балкових водозборів — на диференціацію розораності на імовірнісній основі витрат стоку;

## Висновки

На рівні системи балкових водозборів коефіцієнт співвідношення  $K_B$  прогнозних і фактичних втрат стоку річки як показник розвитку ерозійно-гідрологічних процесів на імовірнісній основі (1; 5; 10; 50%) за гідропостами за течією р. Айдар показав, що за 10%-ої забезпеченості в разі зменшення розораності земель водозборів до рівня 50–60% високий рівень зменшення стоку (81–90%) відзначається на гідропосту Бахмутівка, середній (73–85%) — гідропостах Білолуцьк і Старобільськ, найменший — на гідропосту Курячівка (39–65%). Дослідження вмісту гумусу в межах 4,5–5,5% за групами площ ріллі 40–60% виявило постійне зменшення  $Q_{\max}$  (середньомаксимальних втрат стоку) в інтервалі 8–9%. Тому деталізацію мінімізації ерозійно-гідрологічного процесу потрібно розглядати при розробленні комплексу протиерозійних заходів у землеробському

блоці агроландшафту за групами еродованих ґрунтів.

На рівні окремих балкових водозборів визначення базової ерозійно-екологічної ситуації об'єкта досліджень за інтегральною картою класів ерозійної небезпеки ґрунтів Степу України показало його приналежність до класу помірної ерозійної небезпеки зі стоком 8,1–15,0 мм.

ГІС-технології дають змогу провести адміністративно-територіальний аналіз з метою отримання показників розораності за басейновим принципом. Інтегрована (середньозважена) розораність території відповідно до ключових водозбірних зон становить 69,44–71,17%.

Оптимізацію структури посівних площ доцільно проводити симплекс-методом для досягнення потенційного стоку екологічно допустимого рівня (5 мм) і коефіцієнта ерозійної небезпеки сівозмін  $K_{\text{енс}}$

0,49–0,67 при структурі сівозмін: пар — до 10,7%, озими — 29,13–30,4, кукурудза — 12,29–12,99, ярі зернові — 16,88–18,88,

соняшник — 17,9–19,59, багаторічні трави — 9,22–13,0 та інші культури — 4,18–6,18%.

**Belolipskyi V.<sup>1</sup>, Poluliakh M.<sup>2</sup>**

National Research Center «Institute of soil science and agrochemistry named after O.N. Sokolovsky», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>belolipskiy-42@ukr.net, <sup>2</sup>nick\_pol2015@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-2177-8615, <sup>2</sup>0000-0002-7947-4158

**Assessment of ecological efficiency of the scheme of agrolandscape formation at the level: system of gully drainage areas → gully drainage area of the Aidar River**

**Goal.** To assess ecological efficiency of the scheme of formation of agrolandscapes at the level: system of gully drainage areas → gully drainage areas of the Aidar river. **Methods.** Laboratory-field, mathematical-statistical, topometric, morphological. **Results.** The basic erosion-ecological situation of the object of research is determined. PS levels are calculated for the Steppe zone. An Integral map of soil erosion hazard classes of the Steppes of Ukraine is constructed. At the level of the system of gully drainage areas of the Aidar River, the analysis is carried out of the nature of the impact of forecast and actual erosion-hydrological indicators (runoff costs) on the development of erosion-hydrological processes on a probabilistic basis (1; 5; 10; 50%) by their ratio. On the example of the Yevsuh and Kovsuh river basins, plowing indicators are calculated for key drainage areas along the river with differentiation of administrative land use. The map of the structure of the Yevsuh and Kovsuh river basins within the drainage areas is constructed. The structure of sown areas and their plowing is assessed according to the potential runoff indicator: up to 5 mm — insignificant, 5.1–8 — weak, 8.1–

15 mm — moderate, with erosion index levels (3 and lower; 3–4; 4–5; 5 and above) and grouping the structure of sown areas. According to the simplex method, the analysis of actual and forecast erosion-hydrological indicators and optimization of the structure of sown areas is carried out. For the Aidar River basin the model structure of crop rotations is obtained. Ecological assessment of the structure of crop rotations is performed according to the coefficient of ecological danger of crop rotations.

**Conclusions.** At the level of the gully drainage areas system, the coefficient of the ratio of KV of forecast and actual losses of the river runoff as an indicator of the development of erosion-hydrological processes on a probabilistic basis (1; 5; 10; 50%) at hydro-posts along the Aidar River showed that at 10% security in case of reduction of plowed lands to 50–60%, a high level of runoff reduction (81–90%) was observed at the Bakhmutivka hydro-post, medium (73–85%) — at Biloluts'k and Starobil's'k hydro-posts, the lowest — at the Kuriachivka hydro-post (39–65%). The study of humus content in the range of 4.5–5.5% by groups of arable land areas 40–60% revealed constant decrease in Q<sub>max</sub> (average maximum runoff losses) in the range of 8–9%. At the level of individual gully drainage areas, the determination of the basic erosion-ecological situation of the object of research on the integrated map of erosion hazard classes of steppe soils of Ukraine showed its belonging to the class of moderate erosion hazard with runoff of 8.1–15.0 mm.

**Key words:** basin, drainage areas, hydro-post, slopes, humus, runoff, costs, factors, coefficient.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovissnyk202010-09>

## Бібліографія

1. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001. 163 с.
2. Швеев Г.И., Лисецкий Ф.Н. Проектирование контурно-мелиоративной системы почвозащитного земледелия. *Земледелие*. 1989. № 2. С. 55–59.
3. Трифонова Т.А. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях. *Почвоведение*. 2005. № 9. С. 32–39.
4. Нарожная А.Г., Кузьменко Я.В. Бассейновое природопользование при охране окружающей среды. *Проблемы региональной экологии*. 2012. № 2. С. 12–15.

5. Одум Ю. Экология; пер. с англ. Москва: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
6. Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses. *Agriculture Handbook*. 1978. № 537. 58 p.
7. Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. Soil erosion risk assessment in Europe. *European Soil Bureau*. 2000. 34. P. 8.
8. Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Нарожная А.Г. Применение бассейновой концепции природопользования для почвоводоохранного обустройства агrolандшафта. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 1(9). С. 2432–2435.

9. Смольянинов В.М., Дегтярев С.Д., Щербина С.В. Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов Воронежской области. Воронеж: Истоки, 2007. 133 с.

10. Белоліпський В.О. Ґрунтоводоохоронна оптимізація агроландшафтів: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2012. 399 с.

11. Directive 20/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 20, establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official J.I of the European Communities*. OIECL 327/1–72, Brussels.

12. Naddeo V., Scannapieco D., Zarra T., Belgiorio V. River water quality assessment: Implementation of non-parametric tests for sampling frequency optimization. *Land Use Policy*. 2013. № 30. P. 197–205.

13. Белоліпський В.О., Балюк С.А., Полулях М.М., Тімченко Д.О. Оцінка інтенсивності ерозійно-гідрологічних ситуацій за басейновим принципом (методичні рекомендації та аналіз); за наук. ред. В.О. Белоліпського. Харків, 2018. 72 с.

14. Белоліпський В.О., Лактіонова Т.М., Полулях М.М. Імовірнісна природа вмісту гумусу

й оцінка його неоднорідності у картуванні ґрунтів на басейновій основі. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Харків: ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2017. С. 24–34.

15. Белоліпський В.О., Полулях М.М. Взаємодія фактичних і припустимих показників ерозійно-гідрологічних процесів на імовірнісній основі. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 8. С. 52–59.

16. Белоліпський В.О., Полулях М.М. Застосування басейнової концепції для ґрунто-водоохоронного облаштування агроландшафтів. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 6 (807). С. 55–66.

17. Будник С.В. Оптимизация агроландшафтов: учебн. Житомир: Изд-во ЖГУ им. И. Франко, 2007. 311 с.

18. Франс Дж., Торнли Дж. Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве; пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. Москва: Агропромиздат, 1987. 400 с.

19. Куценко М.В. Теоретичні основи організації системи охорони ґрунтів від ерозії в Україні: монографія. Харків: Зебра, 2016. 221 с.