

УДК 631.421:57.087

## Методологія оцінювання вологозабезпеченості ґрунтів агроландшафту

В.О. Белоліпський\*

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

| ІНФОРМАЦІЯ                                                                                                                                                           | АНОТАЦІЯ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Отримано 04.06.2018<br>Отримано після доопрацювання 16.07.2018<br>Затверджено до друку 06.08.2018<br>Доступно онлайн 01.10.2018                                      | Методологія розробки заходів з підвищення вологозабезпеченості ґрунтів агроландшафту включає послідовний методичний аналіз (з використанням ГС-технологій) за такими тематичними етапами: (1) оцінка неоднорідності природних факторів вологозабезпеченості (вміст гумусу, щільність будови, змитість ґрунту, ступінь захищеності лісосмугами інші) для виявлення диференційованого впливу заходів ґрунтозахисного землеробства; (2) теоретичне обґрунтування кластерним методом найбільш важливих асоціацій факторів, які впливають на вологозабезпеченість з метою формалізації цього процесу; (3) оцінювання функціонування агроландшафту за вмістом у ґрунті доступної вологи або її дефіцитом, виходячи з особливостей геостатистики агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунту; (4) розробка емпіричних моделей вологозабезпеченості за окремими періодами (жовтень-квітень і травень-вересень).<br>У статті представлено практичні результати оптимізації параметрів вологозабезпеченості в різних природно-антропогенних групах агроландшафтів у системі неоднорідності рельєфних, ґрунтових (вміст гумусу, еродованість, дефіцит вологи) та екологічних чинників і їх взаємозв'язку за періодами органогенезу сільгоспкультур. Моделі для оцінювання вологозабезпеченості і ґрунтозахисного функціонування агроландшафту побудовано за такими показниками: коефіцієнт зволоженості ґрунту; ГТК; нормовані опади; вміст гумусу; коефіцієнт змитості ґрунту; щільність будови ґрунту; висота на профілі; коефіцієнт захисної дії лісосмуг; агрофон. |
| <i>Ключові слова:</i><br><br><i>агроландшафт;</i><br><i>ґрунт;</i><br><i>вологозабезпеченість;</i><br><i>методологія;</i><br><i>рельєф;</i><br><i>ГС-технології.</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

\*E-mail: belolipskiy-42@ukr.net

### 1. Вступ

Сьогодні є всі підстави поставити під сумнів модель використання земель сільськогосподарського призначення сучасними агроформуваннями, яка відступає від базового принципу охорони Природи – обов'язковості дотримання землекористувачем екологічної різноманітності, системного взаємозв'язку і гармонії у всіх ланках геосистеми [1, 2, 3]. Для більш якісного інформаційного забезпечення сільськогосподарського виробництва і прогнозування його розвитку треба опрацювати методологію оцінювання агроресурсного забезпечення на локальному, регіональному та державному рівнях [4]. З цією метою доцільно використовувати довгострокові стаціонарні агротехнічні дослідження, які є теоретичною інформаційною базою для визначення ефективності природно-антропогенних факторів і агроєкосистем [5].

Але, виходячи з особливостей геостатистичних показників, які виникають на локальних рівнях (водозбір, робоча ділянка) [6], вважаємо, що для функціонального оцінювання агроландшафту балкових водозборів треба використовувати показники накопичення вологи в осінньо-зимовий період та в період вегетації с.-г. культур. Такий підхід дозволить характеризувати умови формування запасів продуктивної вологи та дефіциту її, коли ГТК є фактором вологозабезпечення ґрунтів (позитивним або негативним) та складовою частиною диференційованого на схилах процесу ґрунтоутворення.

Управління гідрологічним режимом ґрунтів на водозборі має бути диференційованим за фазами (періодами) органогенезу сільськогосподарських культур у ґрунтозахисній системі: ґрунт → лісомеліорація → стокорегулювальна здатність агрофонів [7]. При цьому потрібна більш точна інформація про стан ґрунтового блоку АЛ (еродованість, вміст гумусу, щільність будови, структурність, захищеність лісосмугами, тощо) для оцінювання рівня ефективності екологічної організації території та землеробського блоку (агроландшафтного землеробства та рослинництва).

У визначенні неоднорідності ґрунтового покриття водозбору (і окремих його частин) повинна лежати геостатистична методологія [6] з вивченням варіаграм, угруповань (кластерів), асоціацій факторів (ерозійні процеси, гідрологія та інші) та формалізації ерозійно-гідрологічних процесів і накопичення вологи на водозборі.

У статті представлено огляд результатів розробки методології оцінювання функціонування агроландшафту за показниками вологозабезпеченості ґрунтів.

Впровадження методології гарантує адекватну оцінку стійкості ґрунтового покриву до ерозії та зменшення ерозійних втрат ґрунту до 1,5-2,0 т/га і забезпечить поглинання поверхневого стоку до 10-15 мм. Урожайність зернових культур підвищиться на 4-5 ц/га, а урожай соняшника буде утримуватись стабільно на рівні 17-20 ц/га [8].

## 2. Планування досліджень з оцінки функціонування агроландшафту за показниками вологозабезпеченості

Мета досліджень - розробити методологію оцінки ґрунтозахисного функціонування АЛ за показниками вологозабезпечення в системі неоднорідності рельєфних, ґрунтових (вміст гумусу, еродованість, дефіцит води) та екологічних чинників і їх взаємозв'язку.

План наукових досліджень з оцінювання функціонування агроландшафту за показниками вологозабезпеченості складається з підготовчого, польового та камерального етапів.

На підготовчому етапі планується проведення експерименту згідно з матрицею раціонального планування (за 5-ти змінних). Дослідження забезпечуються супутніми матеріалами: адміністративними, топографічними, агрокліматичними, фізико-географічними, ґрунтово-агрохімічними, економічними. На польовому етапі проводять спостереження на дослідному водозборі (схему розміщення точок спостережень показано на рис.1). Камеральний етап включає аналітичні роботи зі зразками ґрунту, математичну обробку даних і заповнення бази даних.

Польові дослідження проведено на елементах схилів північної експозиції балки "Стукалово" в північному Степу України (Луганська область). Крутість схилів – 2-4°. Ґрунт – чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий еродований на лесоподібному суглинку. На території агроландшафту існують такі угіддя: переліг, система ґрунтозахисних лісосмуг (старих та молодих, 2011р), орні землі.

Даний полігон було створено в 2011 р., як експериментально-демонстраційний комплекс ґрунто-водоохоронних заходів, що включає два об'єкти (7):

1 – Частина балкового водозбору з протиерозійною організацією території (площа 107 га): система трьохрядних лісових смуг, розташованих поперек схилу через 300 метрів + 4-пільна сівозмінна (пар-озимі зернові – зернобобові-соняшник), структурою якої обумовлено розміщення агрофонів у часі та просторі за елементами АЛ;

2 – Частина балкового водозбору з екологічною організацією території (площа 200 га): поздовжнє і поперечне (відносно схилів) розташування лісосмуг + 4-пільна сівозмінна (пар - озимі зернові - зернобобові - соняшник) (Рис. 1).

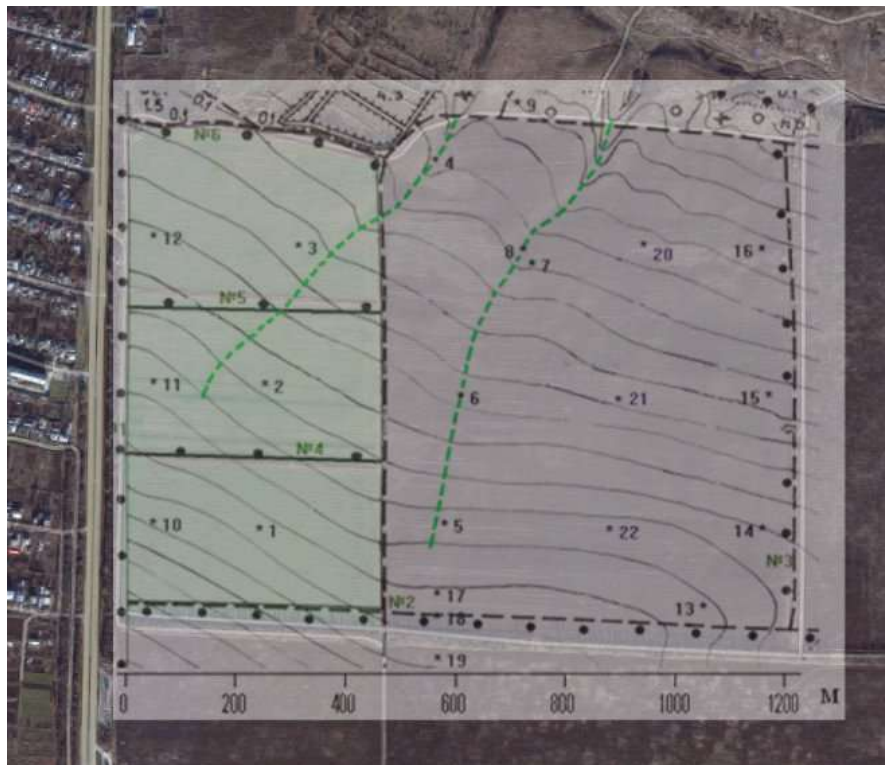


Рис. 1. Точки спостережень на об'єкті досліджень – водозбір балки "Стукалово"

### 3. Досліджувані показники та методи їх визначення

З метою створення моделей та розрахунку вологозабезпеченості ґрунту у визначені періоди протягом вегетації відібрано та певним чином згруповано фактори, що є визначальними для моделювання (Рис. 2).

Розглянемо формули і порядок розрахунку параметрів вимірюваних факторів.

*Гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК).*

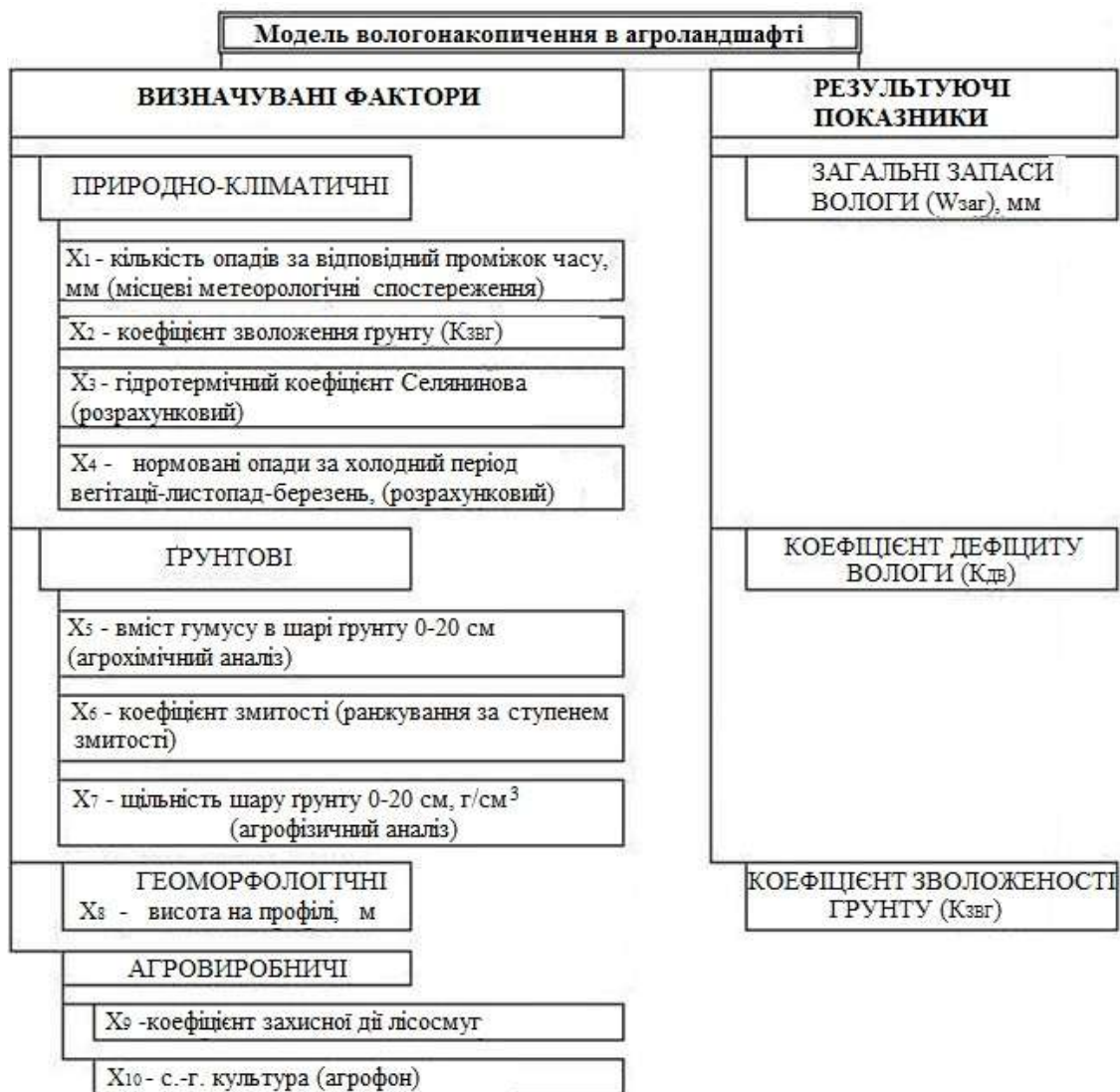
$$ГТК = \frac{\sum H_{оп}}{0,1 \sum t} \quad (1)$$

де:  $\sum H_{оп}$  – сума опадів за певні(критичні)періоди вегетації, мм;  $\sum t$  – сума активних температур за відповідний період, °С.

*Коефіцієнт зволоженості ґрунту ( $K_{звг}$ )*

$$K_{звг} = \frac{W_{прод}}{0,7 * НВ} \quad (2)$$

де:  $W_{прод}$  – запаси продуктивної води у шарі ґрунту 0-100 см, мм; НВ – найменша вологоємність, мм; 0,7 НВ – норматив оптимального для рослин вмісту води.



**Рис. 2.** Досліджувані фактори вологозабезпеченості в агроландшафті

Параметри найменшої вологоємності для чорнозему важкосуглинкового різного ступеня змитості прийнято такі: незмитий – 348, слабозмитий – 334, середньозмитий – 320, сильнозмитий – 308 мм у шарі 0-100 см.

Коефіцієнт дефіциту вологи (КДВ)

$$КДВ = 1 - КЗВГ \quad (3)$$

де:  $КЗВГ$  – коефіцієнт зволоженості ґрунту

Нормовані опади – розрахунковий показник

$$H_{\text{ноп}} = \frac{\sum H_{\text{опфакт}}(\text{листопад} - \text{березень})}{\sum H_{\text{опсеред}}(\text{листопад} - \text{березень})} \quad (4)$$

де:  $\sum H_{\text{опфакт}}$  – сума фактичних опадів (листопад-березень);

$\sum H_{\text{опсеред}}$  – середньобогаторічна сума опадів за відповідний проміжок часу.

Коефіцієнт захисної дії лісових смуг ( $К_{\text{здлс}}$ ):

$$К_{\text{здлс}} = \left( \frac{30h_1}{l_1} + \frac{30h_2}{l_2} + \frac{30h_n}{l_n} \right) \quad (5)$$

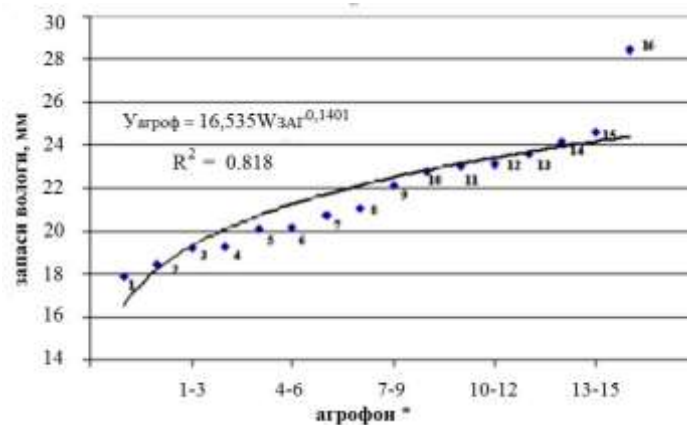
де:  $h_1, h_2, h_n$  – висота лісосмуги, м (прийнята як 10 м);  $l_1, l_2, l_n$  – відстань від точок спостережень до відповідних лісових смуг чи насаджень, м;  $30h$  – зона меліоративного впливу лісосмуги, м.

Фактор  $X_6$  (коефіцієнт змитості ґрунту). Фактор  $X_{10}$  (агрофон).

За фактичними даними середніх запасів вологи на точках спостереження протягом вегетації (2011-2013 рр.) розраховано модель агрофонів (Рис. 3).

$$Y_{\text{АГРОФ}} = 16,535 * W_{\text{ЗАГ}}^{0,1401} \quad (6)$$

де:  $Y_{\text{АГРОФ}}$  – агрофон,  $W_{\text{ЗАГ}}$  – середній запас вологи у шарі ґрунту 0-100 см, мм.



Умовні позначення - агрофон:

- 1-3 – соняшник по зернобобових, дискування озимини, соняшник по кукурудзі;
- 4-6 – соняшник по озимині, цілина, озима по соняшнику;
- 7-9 – зернобобові по озимих, озима по стерні, зернобобові по пару;
- 10-12 – кукурудза по стерньових, ранні ярі по стерні, зяб по озимих;
- 13-16 – лісосмуга, стерня ранніх ярих, зяб після безвідвальної оранки, зяб по соняшнику.

**Рис. 3.** Загальний запас вологи по агрофонах на об'єкті досліджень

За ступенем вологозабезпеченості агрофони, на основі спостережень, об'єднано в 9 груп. Для кожної групи розраховано загальний запас вологи за формулою. Коефіцієнт агрофону розраховано як відношення запасів вологи найменше забезпеченого вологою агрофону (дискування) до відповідної групи агрофонів: дискування – 1,0; соняшник по озимих, зернобобових, кукурудзі – 1,10; переліг – 1,17; озимі по стерньових, зернобобові по озимих – 1,21; зернобобові по пару, ранні зернові та кукурудза по стерньових – 1,25; лісосмуга – 1,28; зяб по озимих, стерньових – 1,31; зяб з безвідвальною оранкою – 1,34; зяб з відвальною оранкою після соняшника – 1,36.

#### 4. Оцінка просторової неоднорідності природно-антропогенних факторів та обґрунтування екологічної (просторової) організації території водозбору

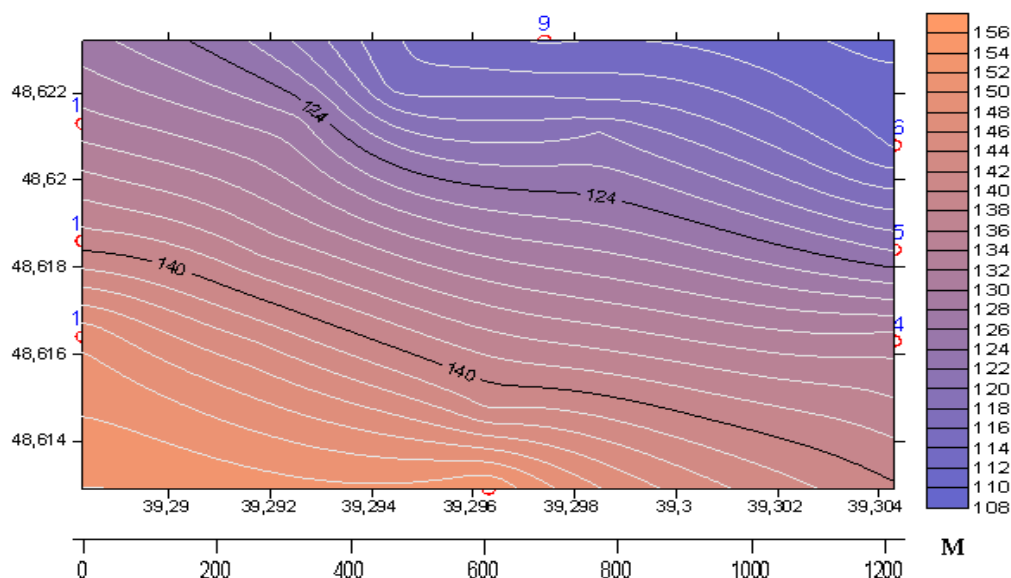
##### 4.1. Статистичний аналіз

Статистичний аналіз неоднорідності природно-антропогенних факторів проведено за такими показниками: рельєф (висота на профілі, м); вміст гумусу в ґрунті шару 0-20 см, %; щільність будови ґрунту у шарі 0-20 см, г/см<sup>3</sup>; коефіцієнт змитості (Табл. 1).

**Таблиця 1**

Статистичний аналіз неоднорідності природно-антропогенних факторів

| Статистичний показник                                     | Статистичні параметри факторів |                                     |            |                      |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------|----------------------|
|                                                           | вміст гумусу, %                | щільність будови, г/см <sup>3</sup> | К змитості | висота на профілі, м |
| Число спостережень ( <i>n</i> )                           | 19                             | 19                                  | 19         | 19                   |
| Середнє значення - $\bar{X}_{cp} = \frac{\sum X_i}{n}$    | 3,044                          | 1,119                               | 1,096      | 131,51               |
| Дисперсія - $S^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}$    | 1,018                          | 0,015                               | 0,008      | 161,07               |
| Стандартне відхилення - $S = \sqrt{S^2}$                  | 1,009                          | 0,124                               | 0,089      | 12,69                |
| Коефіцієнт варіації - $C_v = \frac{S}{\bar{X}} 100, \%$   | 33,0                           | 11,0                                | 8,1        | 10,1                 |
| Абсолютна помилка середнього - $S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$ | 0,231                          | 0,028                               | 0,020      | 2,91                 |
| Медіана - ( <i>Me</i> )                                   | 3,130                          | 1,120                               | 1,080      | 133,00               |
| Асиметрія - $A = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{nS^3}$     | 1,524                          | -0,246                              | 0,622      | -0,073               |
| Екссес - $E = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^4}{nS^4} - 3$    | 3,553                          | -1,283                              | -0,976     | -0,969               |

**4.2. Варіабельність рельєфу у 2-Д діаграмах****Рис. 4.** Просторова неоднорідність рельєфу

Для аналізу взято три рівні висоти на профілі: 112, 138 і 154 м, що відповідають геоморфологічному поділу водозбору на частини: привододільна, середня і нижня (Рис. 4). Параметри статистичного аналізу рельєфу такі: коефіцієнт варіації – 10,1; дисперсія – 164,62; відхилення – 12,83; розмах коливань – 2,94. Мінливість фактора «висота на профілі» – середня ( $10 < C_v < 25$ ).

У протиерозійному плані територія водозбору чітко розділяється (за висотами) на 3 зони: привододільна – 140-158, середня – 124-140 і нижня – 108-124 м. Саме висоти були використані, як кількісні показники впливу рельєфу на вологонакопичення ґрунту.

Використання цього об'єкта у вигляді цифрової моделі рельєфу (ЦМР) дозволяє деталізувати характеристики рельєфу. Однак використання ЦМР для обґрунтування

екологічного облаштування водозбору без системного аналізу функціонального впливу визначальних факторів вологонакопичення та їх кількісної варіабельності в просторі досліджуваного водозбору до позитивного результату не приводить. Результати досліджень свідчать про неоднорідність факторів у часі та у просторі за різними елементами агроландшафту (Рис. 5,6,7).

#### 4.3. Варіабельність коефіцієнта змитості ґрунту у 2-Д діаграмах

Статистичним аналізом фактора *коефіцієнт змитості ґрунту* виявлено таке: коефіцієнт варіації становить 8,1 %; дисперсія – 0,01; відхилення – 0,09; тобто, розбіг у коливаннях досліджуваного показника достатньо низький, але, враховуючи той факт, що коефіцієнт змитості підсилюється у нижніх частинах водозбору та їх улоговинний характер, потрібні протиерозійні заходи щодо обробітку ґрунту та сівби культур (Рис. 5).

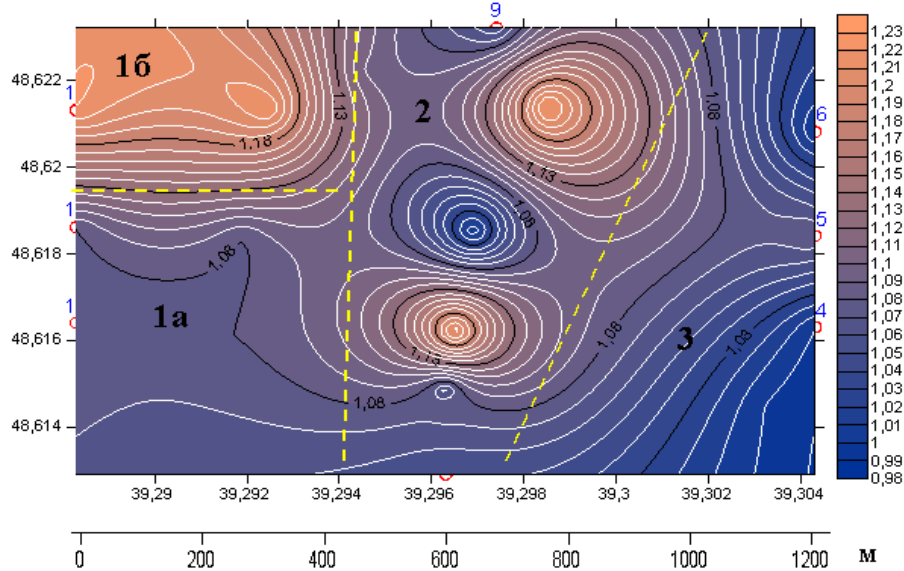


Рис. 5. Просторова неоднорідність коефіцієнта змитості ґрунту

Мінливість фактора *коефіцієнт змитості ґрунту* – слабка ( $C_v < 10$ ), тобто, територія достатньо однорідна за ступенем еродованості ґрунту.

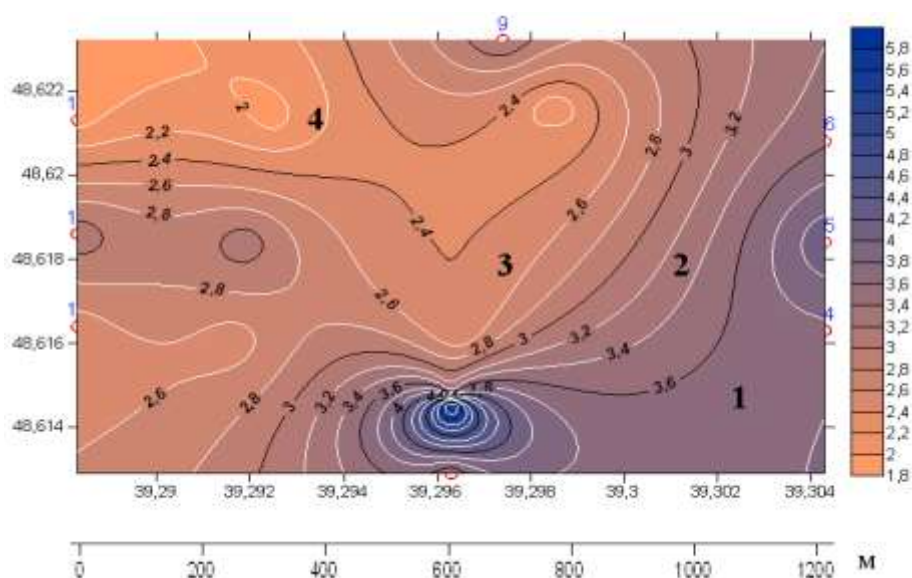
За коефіцієнтом змитості дослідний водозбір можна розділити на 3 частини:

1. Західна третина водозбору з посиленням коефіцієнта змитості вниз по схилу від 1,08-1,10 у верхній та середній частинах (1а) до 1,13-1,20 – у нижній частині (1б);
2. Центральна третина водозбору, приурочена до залягання вираженої улоговини від верхівки водозбору до його нижньої частини  $L = 1500$  м. Ця територія характеризується чергуванням деяких зон з різним коефіцієнтом змитості: верх (1,03-1,08), потім міководозбір у середній (1,08-1,27), (1,08-1,03) та нижній частинах улоговинного водозбору (1,13-1,20), що свідчить про процес багаторічного прояву зон змиву-відкладення, які чергуються;
3. Східна третина зі слабким проявом ерозійних процесів стоку (коефіцієнт змитості 1,02-1,08).

Така ситуація щодо неоднорідності змитості ґрунту свідчить про різну інтенсивність прояву стоку зливових та талих вод, що, природно проявляється у різній вологозабезпеченості ґрунту на різних ділянках балкового водозбору.

#### 4.4. Варіабельність вмісту гумусу у 2-Д діаграмах

Мінливість фактора вміст гумусу – висока ( $C_v > 25$ ) – рис. 6. Статистичні параметри вмісту гумусу (%) у шарі ґрунту 0-20 см: коефіцієнт варіації – 33,1; дисперсія – 0,98; відхилення – 0,99; розмах коливань – 0,23



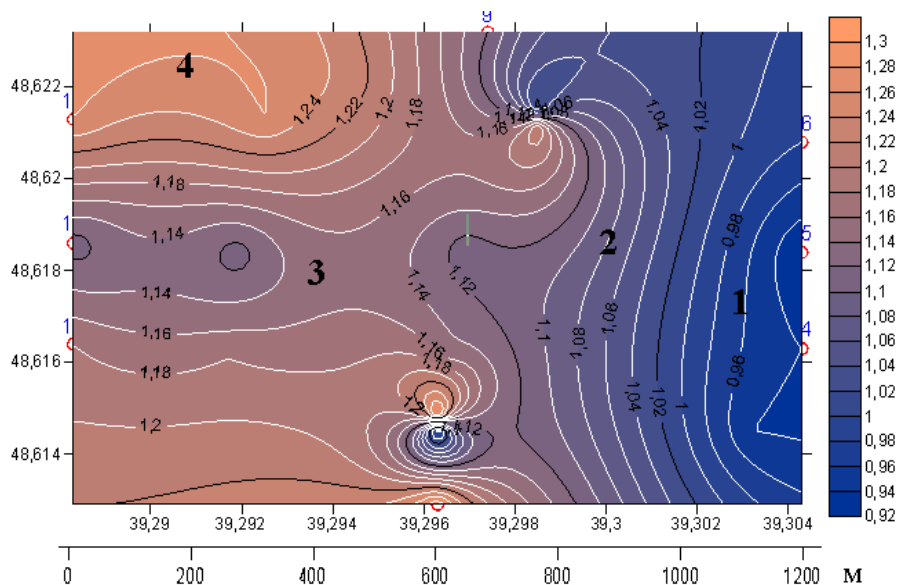
**Рис. 6.** Просторова неоднорідність вмісту гумусу у шарі ґрунту 0–20 см, %

За вмістом гумусу на об'єкті можна виділити 4 зони: (1) 3,6-4,2 %; (2) 3,0-3,6 % – північно-східна частина, приурочена до південної лісосмуги верхньої частини вододілу та завітрянного шлейфу східної лісосмуги; (3) 2,4-3,0 %; (4) до 2,4 % – південно-західна та центральна частина, приурочена до навітрянного шлейфу західної лісосмуги та нижньої частини водозбору.

Виявлена ерозійно-гідрологічна ситуація відбивається на неоднорідності щільності будови ґрунту в орному шарі, яка тісно корелює з умістом гумусу.

#### 4.5. Варіабельність щільності будови ґрунту в орному шарі у 2-Д діаграмах

Мінливість фактора *щільність будови* – середня ( $10 < C_v < 25$ ) – рис. 7. Коефіцієнт варіації, дисперсія, відхилення та розмах коливань щільності будови ґрунту в орному шарі становлять відповідно 11%, 0,02, 0,12 та 0,03.



**Рис. 7.** Просторова неоднорідність щільності будови ґрунту в орному шарі

За щільністю будови ґрунту територія масиву поділяється на 4 групи з кроком  $0,1 \text{ г/см}^3$ , що дозволяє детально пов'язати цей фактор з показниками «еродованість» та «вміст гумусу»: 1 – більше 1,22; 2 – 1,12-1,22; 3 – 1,02-1,12; 4 – менше 1,02  $\text{г/см}^3$ .

Просторове розміщення груп пов'язане з еродованістю та вмістом гумусу у ґрунті. Ця ситуація без застосування диференційованих заходів обробітку ґрунту та застосування агроландшафтного землеробства буде негативно відбиватися на стані АЛ у підсиленні

стоку, підсиленні ерозійних процесів та погіршенні накопичення вологи у ґрунті.

На завершення аналізу факторів вологозабезпеченості зауважимо, що показники мінливості, які характеризують неоднорідність агрофізичних властивостей ґрунтів, є важливими і при цьому економічно та технологічно значущими в системі “фактори – процеси (ґрунтоутворення, ерозія, вологозабезпеченість) – продуктивність ріллі” [6].

Разом з тим, статистику неоднорідності вмісту гумусу, щільності будови, еродованості та інших параметрів властивостей ґрунту, на основі яких вибираються способи обробітку, внесення добрив, гідротехнічні, фітомеліоративні та ґрунтозахисні заходи, необхідно враховувати для формування моделі керування цими процесами.

Для використання вище означених властивостей ґрунту в розробці функціональних моделей потрібно спочатку теоретично об'єднати фактори в кластери, тісно наближені до задачі функціонування ґрунтоводоохоронної системи.

## 5. Кластерний аналіз ефективності факторів вологозабезпеченості на водозборах АЛ

Виділення асоціації факторів, які зумовлюють накопичення вологи в агроландшафтах, проведено ієрархічним методом (кластерний аналіз – програма Statistika-6.0). Для розробки моделі вологозабезпеченості в агроландшафті сформовано банк даних показників, які впливають на процес. Дані отримано в результаті спостережень за динамікою вологості ґрунту з урахуванням природних та антропогенних факторів [7].

Що необхідно виявити в результаті кластерного аналізу:

1. Асоціації природних та антропогенних факторів, які впливають на вологозабезпеченість на водозборі;
2. Кластери (групи) однорідних факторів, які послідовно об'єднати у функціональну систему вологонакопичення сільськогосподарських культур у сівозміні за фазами органогенезу;
3. Перспективність заходів, спрямованих на вологозабезпеченість, в організаційній структурі водозбору.

Графічний характер взаємозв'язку факторів та їх асоціацій відображено у вигляді дендрограми, де для асоціацій кожного рівня (однорідності) угруповання по горизонтальній осі відкладаються дистанційні показники (відстань об'єднання факторів), а по вертикальній осі – групи факторів (Рис. 8) (фактори: агрофон, вміст гумусу, коефіцієнт захисної дії лісосмуг, щільність будови ґрунту, висота на профілі, нормованість опадів).

В таблиці 2 представлено об'єднання факторів на весняний період (квітень) у вигляді послідовних функцій.

**Таблиця 2**

*Дендрограма взаємозв'язку факторів та їх асоціацій (квітень)*

| Кластер | Вологий рік                                           | Сухий рік                                             |
|---------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1       | $F_1 = f(\text{гумус} * K \text{ зах. дії лісосмуг})$ | $F_1 = f(\text{гумус} * K \text{ зах. дії лісосмуг})$ |
| 2       | $F_2 = f(F_1 * \text{агрофон})$                       | $F_2 = f(\text{висота} * \text{щільність})$           |
| 3       | $F_3 = f(\text{висота} * \text{щільність})$           | $F_3 = f(F_1 * \text{нормованість опадів})$           |
| 4       | $F_4 = f(F_3 * \text{нормовані опади})$               | $F_4 = f(F_2 * \text{агрофон})$                       |
| 5       | $F_5 = f(F_2 * F_4)$                                  | $F_5 = f(F_3 * F_4)$                                  |

Загалом, групування факторів вологозабезпеченості у кластери дозволяє проектувати заходи з оптимізації умов зволоження у квітні (сухий рік):

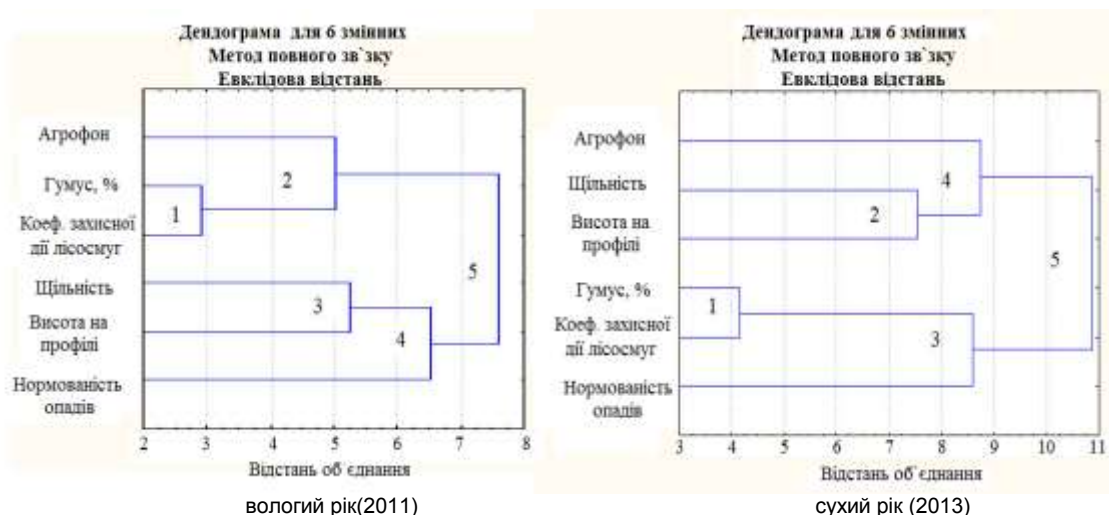
1 кластер (гумус + коефіцієнт захисної дії лісосмуг) – підсилення захищеності лісосмугами;

2 кластер (висота на профілі + щільність) – розуцільнення ґрунтів;

3 кластер (гумус + коефіцієнт захисної дії лісосмуг, нормовані опади) – внесення органіки, біогумусу та підвищення захищеності лісосмугами заходами лісомеліорації;

4 кластер (висота на профілі + щільність будови, агрофон) – технології вирощування сільськогосподарських культур.

Відмінність представлених кластерів полягає в тому, що на третьому рівні об'єднання в посушливий період процес вологонакопичення залежить від природного фактору – опади, у зволожений рік воно буде визначатися агрофоном, а опади, які випадають, будуть краще поглинатися відповідно до залежності, яка об'єднує висоту на профілі та щільність будови ґрунту (на четвертому рівні об'єднання).



**Рис. 8.** Асоціації екологічних факторів вологозабезпеченості

Із розгляду дендрограми, у якій присутні всі природно-антропогенні фактори, ланцюжок взаємопов'язаних факторів в асоціації збільшується до 8 (висота на профілі, коефіцієнт захисної дії лісосмуг, вміст гумусу, змитість, агрофон, коефіцієнт зволоженості в квітні, нормованість опадів холодного періоду року, гідротермічний коефіцієнт).

Аналіз дендрографів за періодами вегетації сільськогосподарських культур показав, що найсильніше впливають на накопичення вологи в ґрунті такі асоціації факторів:

Травень-червень  $F_{заг} = [(змитість * щільність) * (Кзмитості * Кзах. дії лісосмуг) * (агрофон * ГТК)]$ ;

Липень-серпень  $F_{заг} = [(гумус * К зах. дії лісосмуг) * (К змитості * щільність) * висота на профілі]$ ;

Вересень-жовтень  $F_{заг} = [(гумус * К зах. дії лісосмуг) * (К змитості * щільність) * ГТК * висота на профілі]$ .

Детальний розгляд дендрографів за фазами вегетації культур дозволяє виявити основні групи факторів та показники керування вологозабезпеченістю у період травень-жовтень (Табл. 3).

Виявлені однорідності природно-антропогенних факторів вологозабезпеченості послугували основою формалізації процесу накопичення вологи з метою оцінювання функціонування агроландшафту за параметрами вологозабезпеченості та визначення шляхів його оптимізації.

**Таблиця 3.**

Групи однорідності факторів у керуванні процесом накопичення вологи в АЛ за вегетаційний період

| Група                   | Групування факторів                                      | Фактор керування накопиченням вологи у ґрунті                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Травень-червень</b>  |                                                          |                                                                |
| 1                       | Змитість – щільність будови ґрунту                       | Щільність будови ґрунту                                        |
| 2                       | Коеф. зволоженості квітень – Коеф. захисної дії лісосмуг | Коеф. захисної дії лісосмуг                                    |
| 3                       | Агрофони - ГТК                                           | Агрофони                                                       |
| <b>Липень-серпень</b>   |                                                          |                                                                |
| 1                       | Гумус – коеф. захисної дії лісосмуг                      | Коеф. захисної дії лісосмуг                                    |
| 2                       | Змитість - щільність будови ґрунту                       | Щільність будови ґрунту                                        |
| 3                       | Група 1 + висота на профілі                              | Гумус, коеф. захисної дії лісосмуг                             |
| <b>Вересень-жовтень</b> |                                                          |                                                                |
| 1                       | Гумус – коеф. захисної дії лісосмуг                      | Коеф. захисної дії лісосмуг + мульчування рослинними залишками |
| 2                       | Змитість - щільність будови ґрунту                       | Щільність будови ґрунту + мульчування рослинними залишками     |
| 3                       | Гумус + коеф. захисної дії лісосмуг – висота на профілі  | Коеф. захисної дії лісосмуг + мульчування рослинними залишками |
| 4                       | Змитість + щільність - ГТК                               | Щільність + мульчування рослинними залишками                   |

## 6. Порівняльний аналіз вологозабезпеченості за вегетаційний період (травень-жовтень)

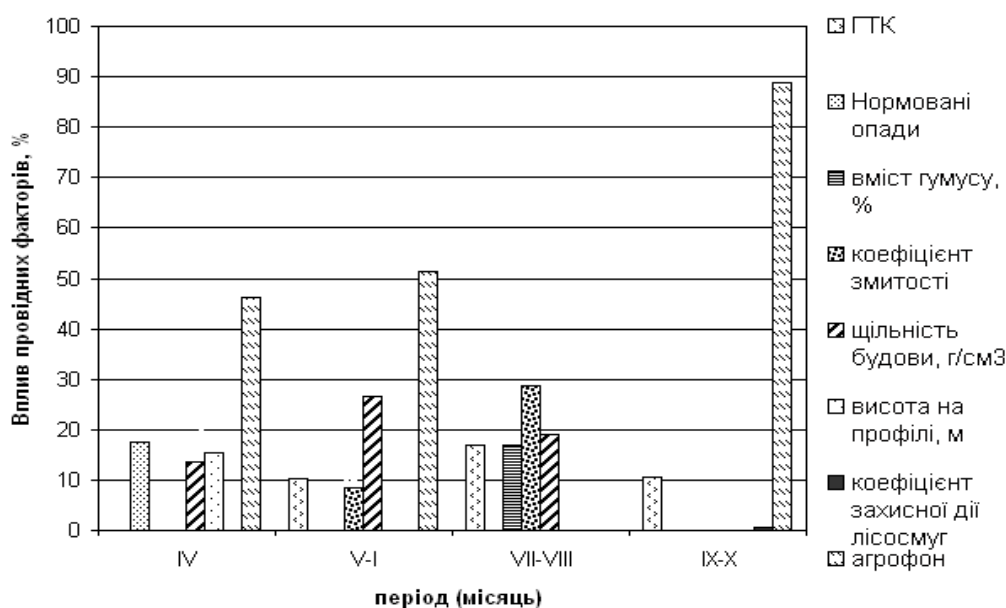
Порівняльним аналізом вологозабезпеченості агроландшафту в період вегетації (травень-жовтень) виявлено провідні групи факторів керування гідрологічним режимом ґрунту за робочими ділянками (Табл. 4, рис. 9).

**Таблиця 4.**

Параметри факторів у моделях вологозабезпеченості в АЛ

| Період                                 | Фактори та їх вплив, %; модель                                                                                          |              |              |              |              |             |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1- Сівба ранніх ярих (квітень)         | $X_{10} - 46,2$                                                                                                         | $X_4 - 17,4$ | $X_8 - 15,4$ | $X_7 - 13,7$ | $X_5 - 5,2$  | $X_9 - 2,1$ |
|                                        | $Y_{\text{зар}} = 0,015 * X_{10}^{1,656} * X_4^{-0,6231} * X_8^{0,5514} * X_7^{-0,4896} * X_5^{0,1852} * X_9^{-0,0733}$ |              |              |              |              |             |
| 2- Формування врожаю (травень-червень) | $X_{10} - 51,3$                                                                                                         | $X_7 - 26,5$ | $X_3 - 10,4$ | $X_6 - 8,4$  | $X_2 - 3,1$  | $X_9 - 0,3$ |
|                                        | $Y_{\text{КДВ}} = 1,092 * X_{10}^{-0,3925} * X_7^{0,203} * X_6^{0,0639} * X_3^{0,08} * X_2^{-0,0242} * X_9^{-0,0007}$   |              |              |              |              |             |
| 3- Післязбиральний (липень-серпень)    | $X_6 - 28,6$                                                                                                            | $X_7 - 19,1$ | $X_5 - 17,0$ | $X_3 - 17,0$ | $X_8 - 16,9$ | $X_9 - 1,4$ |
|                                        | $Y_{\text{КДВ}} = 0,563 * X_6^{0,1984} * X_7^{0,1323} * X_3^{-0,1173} * X_8^{0,1169} * X_5^{-0,0389} * X_9^{0,0095}$    |              |              |              |              |             |
| 4- Сівба озимих (вересень-жовтень)     | $X_{10} - 88,8$                                                                                                         | $X_3 - 10,7$ | $X_9 - 0,5$  |              |              |             |
|                                        | $Y_{\text{КДВ}} = 0,983 * X_{10}^{-0,8869} * X_3^{-0,1066} * X_9^{0,0076}$                                              |              |              |              |              |             |

Пояснення:  $X_2$  – коефіцієнт зволоженості ґрунту;  $X_3$  – ГТК;  $X_4$  – нормовані опади;  $X_5$  – вміст гумусу;  $X_6$  – коефіцієнт змитості ґрунту;  $X_7$  – щільність будови ґрунту;  $g/cm^3$ ,  $X_8$  – висота на профілі;  $X_9$  – коефіцієнт захисної дії лісосмуг;  $X_{10}$  – агрофон



**Рис. 9.** Провідні фактори вологозабезпеченості ґрунтів агроландшафту

При цьому негативна роль природного фактору ( $X_3$ ) – ГТК зміщується від відсутності впливу на початку вегетації до 3,1 % у період формування врожаю, 17 % – у післязбиральний період та 10,7 % – у період сівби озимих. Екстремальність умов вологозабезпеченості у ці періоди пом'якшується заходами з поліпшення властивостей ґрунту (щільність будови, вміст гумусу) залежно від змитості ґрунту.

## 7. Висновки

Методологія розробки заходів з підвищення вологозабезпеченості ґрунтів агроландшафту включає послідовний методичний аналіз з використанням ГІС-технологій:

Оцінка неоднорідності природних факторів вологозабезпеченості (вміст гумусу, щільність будови, змитість ґрунту, ступінь захищеності лісосмугами інші) для виявлення диференційованого впливу заходів ґрунтозахисного землеробства та рослинництва;

Теоретичне обґрунтування кластерним методом найбільш важливих асоціацій факторів, які впливають на вологозабезпеченість з метою формалізації цього процесу;

Виходячи з особливостей геостатистики агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунту, оцінка функціонування агроландшафту за вмістом доступної вологи або її дефіцитом;

Розробка емпіричних моделей вологозабезпеченості за окремими періодами (жовтень-квітень і травень-вересень);

Оптимізація параметрів вологозабезпеченості в різних природно-антропогенних групах АЛ.

### Список цитованої літератури

1. Белоліпський В.О., Полулях М.М. Система охорони від водної ерозії ґрунтів схилених територій степових агроландшафтів (науково-методичний посібник). За ред. доктора с.-г. наук В.О. Белоліпського. і канд. с.-г. наук Т.М. Лактіонової. Харків, 2016. 169 с.
2. Природний механізм захисту схилених ґрунтів від ерозії / М.І. Полупан, С.А. Балюк, В.Б. Соловей [та ін.]. За ред. М.І. Полупана. Київ: Фенікс, 2011. 144 с.
3. Закон України «Про екологічну мережу України». Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2004. № 45. Ст. 502.
4. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року. За ред. Ю.О. Лупенка та В.Я. Месель-Веселяка. Київ: ННЦ "ІАЕ", 2012. 182 с.
5. Тараріко Ю.О., Чернокозинський А.В., Сайдак Р.В. Вплив агротехнічних і агрометеорологічних факторів на продуктивність агроєкосистем. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 5. С. 64–67.
6. Медведев В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 1. Введение в проблему. Харьков: Изд. 13 типография, 2007. 296 с.
7. Белоліпський В.О., Полулях М.М. Оцінка функціонування агроландшафту за показниками вологозабезпеченості та параметри його оптимізації (методичні рекомендації). За ред. доктора с.-г. наук В.О. Белоліпського. Харків, 2015. 74 с.
8. Тараріко О.Г., Греков В.О., Панасенко В.М. Охорона та відновлення деградованих ґрунтів відповідно проекту ґрунтової директиви Євросоюзу. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 5. С. 9–13

UDC 631.421:57.087

### Methodology for assessing the moisture content of soils in the agro-landscape

V.O. Belolipsky\*

NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N.Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine

\*E-mail: belolipskiy-42@ukr.net

The methodology of developing measures for increasing the moisture content of soils in the agrarian landscape includes a consistent methodological analysis (using GIS technologies) on the following thematic stages: (1) estimation of the heterogeneity of natural factors of moisture content (humus content, density of structure, soil leaching, degree of protection by forest strips, others) for revealing differentiated influence of measures of soil protection agriculture; (2) the theoretical substantiation of the cluster method of the most important associations of factors that influence water availability in order to formalize this process; (3) assessing the functioning of the agro-landscape on the content of available moisture or its deficit, based on the peculiarities of geostatistics of agro-physical and agrochemical properties of the soil; (4) elaboration of empirical models of moisture provision for separate periods (October-April and May-September). The article presents the practical results of optimization of water availability parameters in various natural and human groups of agrolandscapes in the system of heterogeneity of relief, soil (humus content, erodibility, moisture deficit) and ecological factors and their interrelation with periods of organogenesis of agricultural crops.

**Keywords:** agro-landscape; soil; water supply; methodology; relief; GIS-technology.