

**ОПТИМІЗАЦІЯ ВОДНОГО РЕЖИМУ ҐРУНТУ В СТЕПУ УКРАЇНИ  
ПРИ ВИРОЩУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР  
З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ**

**Ю. О. Лавриненко, С. В. Коковіхін**, доктори сільськогосподарських наук

*Інститут зрошуваного землеробства НААН України;*

**О. П. Тищенко**, кандидат сільськогосподарських наук

*Кримський науково-дослідний центр Інституту водних проблем і меліорації НААН України*

*В статті наведені результати досліджень фільтраційних властивостей ґрунту при низхідному русі води. Досліди проведені за допомогою спеціально розробленої лабораторної і польової установок.*

**Ключові слова:** *інфільтрація, вбирання, стала фільтрація, сумарне випаровування, низхідний рух вологи.*

При вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошуваних землях важливо враховувати фільтраційні властивості ґрунту або водопроникність, тобто здатність ґрунтів пропускати через себе воду. Фільтрація ґрунту включає поглинальну здатність, інфільтрацію, сталу фільтрацію і водовіддачу [1, 2]. Поглинання вологи ґрунтом відбувається в початковий період поливу або на початку дощу, коли капілярна здатність ґрунту всмоктувати воду переважає над інтенсивністю поливу або дощу.

Інфільтрація – низхідний рух вологи в ґрунт, коли частина пор заповнена водою, що фільтрується, решта – повітрям [8], а фільтрація – коли з фільтруючого ґрунту все повітря витісняється водою, тобто всі пори в ґрунті заповнені водою. Процес сталої фільтрації через певний шар ґрунту має місце, коли кількість води, що фільтрується через горизонтальну площину ґрунтового профілю, дорівнює кількості води, що надходить до поверхні ґрунту.

Процеси фільтрації в ґрунті тривають як при повному, так і при неповному насиченні ґрунту водою, що фільтрується, а також при вільному і капілярно-підпертому від ґрунтових вод режимі [3, 4, 5].

Як вказувалося вище, водопроникність складається з поглинання, інфільтрації (початкова стадія фільтрації) і сталої фільтрації, характеристикою якої є коефіцієнт фільтрації. Під коефіцієнтом фільтрації слід розуміти швидкість просочування води за одиницю часу. Знання величин вбирання і сталої фільтрації для певних ґрунтів необхідне для обґрунтування поливних норм при інтенсивності дощу характерній для різного типу дощувальних машин.

Отже, встановивши фільтраційні властивості і допустиму для даного ґрунту інтенсивність дощу, можна правильно визначити тип дощувальної машини і запобігти появі калюж на поверхні ґрунту, що в свою чергу попередить розвиток поверхневої ерозії і появу локальної фільтрації поливної води за межі розрахункового ґрунтового шару. В зв'язку з цим нами були вивчені фільтраційні властивості ґрунту за допомогою розробленої лабораторної і польової фільтраційних установок.

Доцільність розробки лабораторної установки полягає в тому, що визначення водно-фізичних характеристик ґрунту виконується звичайно в польових умовах. Але польовий сезон обмежений теплим періодом року, тому застосування розробленої лабораторної установки дає можливість проводити дослідження в лабораторних умовах впродовж всього року.

Лабораторна установка захищена авторським свідоцтвом на винахід і призначена для визначення водно-фізичних характеристик ґрунту, вивчення динаміки переміщення поживних речовин з метою розробки режимів зрошення і живлення сільськогосподарських культур.

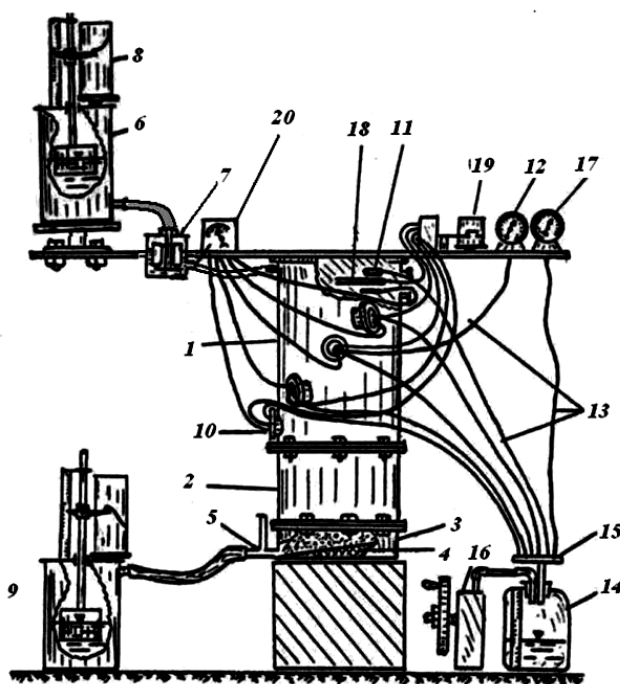
При розробці конструкції ставили мету – на одній установці виконувати декілька видів досліджень з встановлення водно-фізичних характеристик ґрунту. Для цього заздалегідь була вивчена більшість доступних приладів і деяке устаткування.

На експериментальній установці можливо визначати наступні водно-фізичні характеристики ґрунту: поглинання води, швидкість фільтрації, верхній рівень оптимального зволоження ґрунту (найменша вологемність), нижній рівень оптимального зволоження ґрунту (вологість розриву капілярів), повну вологемність, водовіддачу, щільність складання ґрунту, глибину проникнення азотних добрив залежно від величини поливної норми, швидкість вимивання і кількість азотних добрив.

Установка (рис. 1) складається з контейнера (1), зарядженого ґрунтовим монолітом без порушення структури, з'єднаного фланцевою муфтою через гумову прокладку з буферним контейнером (2), заповненим добре промитим піском. Висота контейнера (1) дорівнює 0,5 м. При необхідності окремі частини контейнера можливо монтувати через фланцеві пристрої в колону необхідної висоти.

Буферний контейнер (2), також через фланцеву муфту з'єднується з піддоном (3), в якому міститься зворотний фільтр, складений пошарово з різних фракцій піску. Перед укладанням зворотного фільтру на дно піддону слід налити розплавленого парафіну (4) з таким розрахунком, щоб після застигання його поверхня була з нахилом у бік зливного отвору (5). Подача води на поверхню моноліту здійснюється з бака (6) через шланг і регулюючий пристрій (7). На кришці бака змонтований самописець (8) для реєстрації на стрічці величини та інтенсивності подачі води на моноліт.

У нижній частині установки змонтований аналогічний фіксуєчий пристрій (9) для реєстрації об'єму та інтенсивності води, профільованої через моноліт. Для відсмоктування з моноліту порових розчинів на боковій поверхні є спеціальні люки (10), через які в ґрунт вмонтовуються порожнисті керамічні датчики волого- й солепереносу (11), а також манометр (12), що показує негативний тиск води в ґрунті. Датчики за допомогою гнучких полі- хлорвінілових трубок (кембриків) (13) з'єднуються з вакуумною посудиною (14) місткістю 5–6 л. У пробку вмонтовується збірка (15) з підведеними кембриками від датчиків (11).



1. Контейнер.
2. Буферний контейнер.
3. Піддон.
4. Парафін.
5. Зливний отвір.
6. Бак подачі води.
7. Водорегулювальний пристрій.
8. Самописець.
9. Бак фільтрації.
10. Люк.
11. Датчик вологепереносу.
12. Вакуумний манометр.
13. Трубки.
14. Вакуумна посудина.
15. Збірка.
16. Вакуумний насос.
17. Вакуумний манометр.
18. Електроди.
19. Самописець швидкості вбирання.
20. Електротермометр.

*Рис. 1. Лабораторна установка для вивчення водно-фізичних і водно-хімічних характеристик ґрунту.*

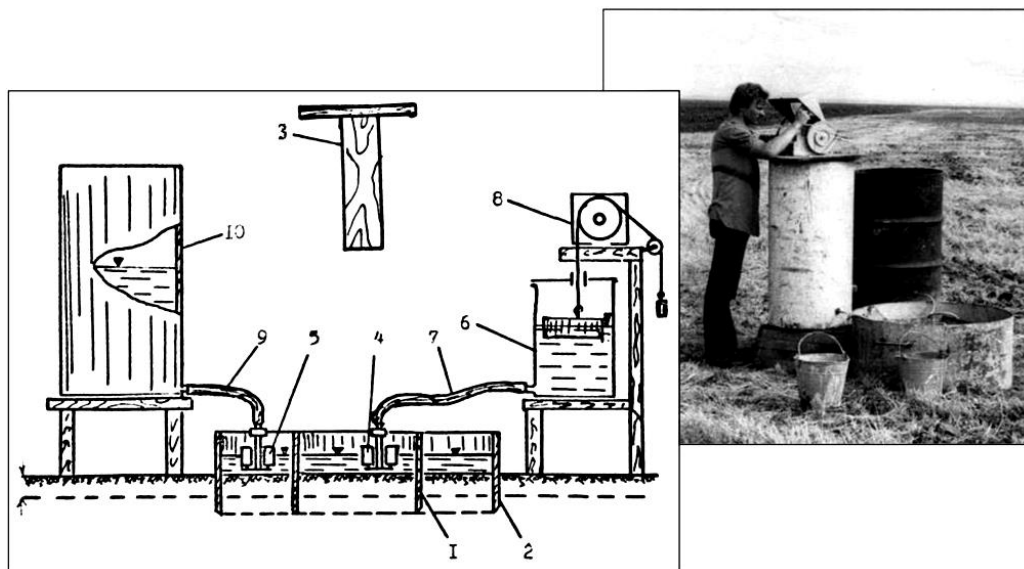
Для стеження за швидкістю вбирання, в люки вмонтовані електроди (18), які підключені до самописця швидкості вбирання води ґрунтом (19), в ці ж люки вмонтовані і електротермометри для контролювання температурного режиму ґрунт – вони підключені до датчика температури (20).

Ґрунт в контейнер (1) заряджається без порушення структури. Зазор між стінкою кон-тейнера і ґрунтовим монолітом заливається розплавленим парафіном, щоб виключити заті-кання води в зазор між контейнером і монолітом.

При постановці всіх дослідів в обов'язковому порядку визначали температуру в ґрун-товому моноліті, оскільки температура нижче 10°C значно впливає на його гідрофізичні ха-рактеристики.

У меліоративній практиці найбільш важливими характеристиками ґрунту є поглинан-ня і фільтрація води, що подається при зрошенні. Фільтраційні властивості ґрунту дослід-жували за допомогою спеціальної установки, яка значно вдосконалена порівняно з приладом ПВН Нестерова. Установку можливо використовувати замість методу заливки ділянок. Най-частіше звертаються до цього методу при визначенні найменшої вологості [5, 3].

Польова фільтраційна установка (рис. 2) складається з двох кілець заввишки 0,6 м кожне, виготовлених з листової сталі. Облікове (внутрішнє) кільце (1) має площу 0,2 м<sup>2</sup>, захисне (зовнішнє) (2) – 1 м<sup>2</sup>. Нижні кромки кілець загострені. Кільця в ґрунт забивають ударником (3) на глибину орного шару плюс 10 см. Рівень води в кільцях утримується на одній відмітці автоматично, за допомогою водозамикаючих пристроїв (4 і 5). Впродовж всього досліді шар води в кільцях утримується в межах 1–2 см. Вода в облікове кільце надходить з бака (6) за допомогою гумового шланга (7), що сполучає бак з водозамикачем (4). Облік води на фільтрацію реєструється самописцем рівня води (8), встановленому на кришці бака (6). У захисне кільце (2) вода надходить через шланг (9) з бака (10).



1. Облікове кільце. 2. Захисне кільце. 3. Ударник. 4. Водозамикаючий пристрій облікового кільця.
5. Водозамикаючий пристрій захисного кільця. 6. Мірний бак. 7. Сполучний шланг. 8. Самописець рівня води. 9. Сполучний шланг. 10. Ємкість для запасу води, що витрачається захисним кільцем.

**Рис. 2. Схематичне зображення установки для вивчення вбирання і фільтрації води в ґрунт та її загальний вигляд в робочому стані.**

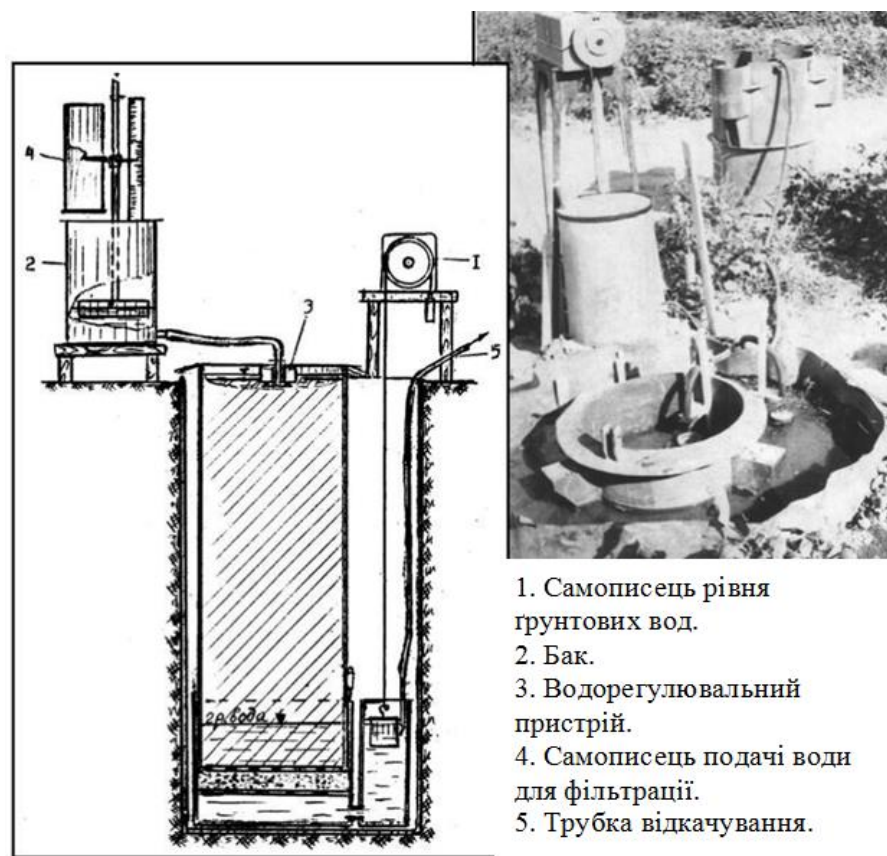
Зручність шлангового з'єднання баків з кільцями полягає у тому, що баки можна встановлювати біля джерел води (канал, тимчасовий зрошувач), а кільця забивати в ґрунт у необхідній точці поля. Крім того, при проведенні дослідів виключається витоптування

по-сівів, оскільки баки можна встановити на краю поля.

Описаний вище прилад дає можливість проводити досліди в безперервному режимі, при цьому процес фільтрації води в ґрунт записується на стрічці самописця у вигляді графіка залежності фільтрації від часу. По осі абсцис йде відлік часу, а по осі ординат спочатку маємо величину швидкості вбирання (початкова фаза досвіду), а потім сталу фільтрацію (кінцева фаза). Тут процес вбирання представлений у вигляді кривої лінії, яка в початковий період характеризується значним піднесенням, а потім плавно переходить в постійну похилу лінію. Чим більший кут нахилу лінії, тим вище значення сталої фільтрації.

По закінченні досвіду з визначення поглинання та фільтрації, через добу після припинення подачі води в облікове (внутрішнє) кільце, в середині внутрішнього кільця об'ємним буром в чотириразовій повторності, через 10 см, відбирається ґрунт на предмет визначення вологості, що відповідає величині найменшої вологоємкості. Одночасно визначається і щільність складання ґрунту. Як вже було відмічено вище, об'ємний бур слід використовувати для попередження віджимання частини вологи з ґрунтового зразка. При близькому заляганні ґрунтових вод процес фільтрації вимірюється за допомогою батареї переобладнаних випарників-лізіметрів ГР-80 з постійними рівнями ґрунтових вод – 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 і 2,5 м.

На рисунку 3 показана схема переобладнаного випарника-лізіметра для установки з визначення водно-фізичних характеристик ґрунту.



*Рис. 3. Польова установка для вивчення швидкості фронту промочування, сталої фільтрації і водовіддачі із зони аерації ґрунтів (модернізований лізіметр ГР-80).*

Переобладнання лізіметра полягає в наступному: замість водорегулювального пристрою був встановлений самописець рівня води «Валдай» (1), за допомогою якого реєстрували зміни рівня ґрунтових вод. Подавали воду на поверхню моноліту за

допомогою бака доливання (2) із замикаючим пристроєм (3) і реєстрували цей процес самописцем фільтрації (4), встановленому на кришці бака доливання. Воду, що просочилася через ґрунтовий моноліт, відкачували на поверхню вакуумним насосом за допомогою трубки (5). Слід зазначити, що дослідження процесів вбирання, фільтрації і водовіддачі необхідно проводити тільки на ґрунтових монолітах.

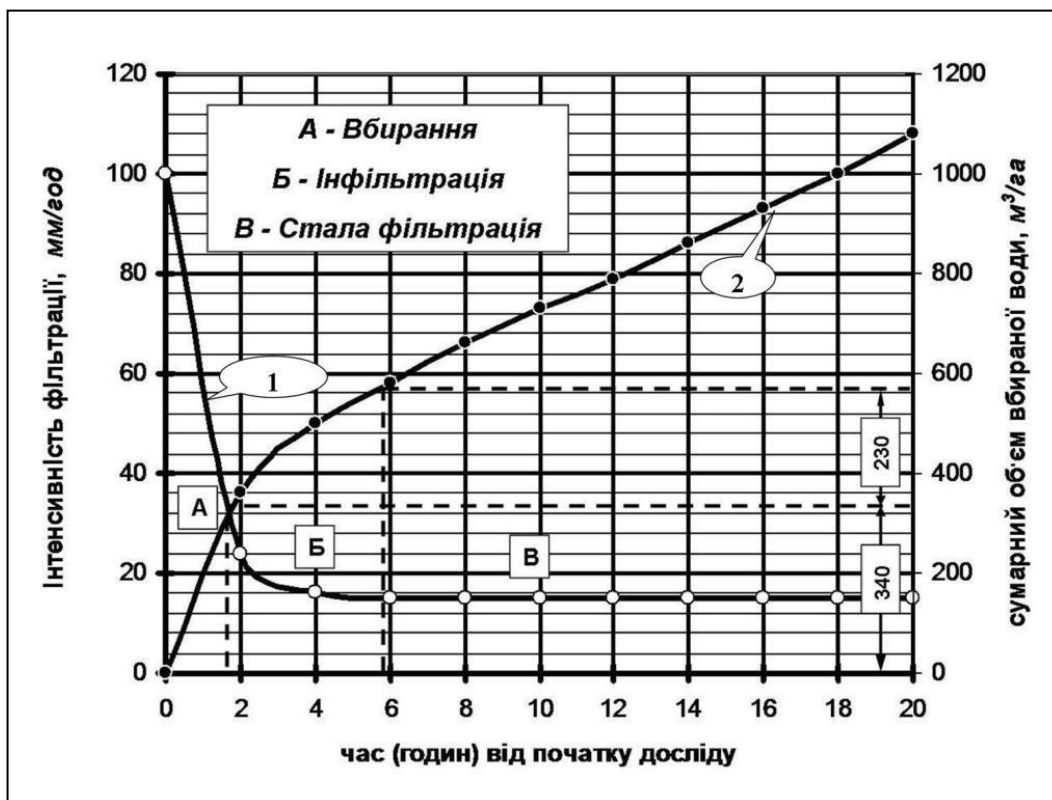
На підставі запису самописця (1) встановлювали тривалість інтервалу від початку вбирання до моменту підйому рівня ґрунтових вод, тобто швидкість проходження фронту промочування. Визначали час заповнення ґрунтовою вологою зони аерації, сталу фільтрацію, а також величину водовіддачі з моноліту.

На поверхні ґрунтового моноліту підтримувався постійний рівень води за рахунок замикаючого пристрою (3). Витрату води з бачка живлення (2) реєстрували також самописцем (4), змонтованим на кришці бачка.

Подачу води на поверхню моноліту припиняли після досягнення сталого режиму фільтрації, чому відповідає пряма похила лінія на стрічці самописця (4).

Після видалення води, що не профільтрувалася з поверхні моноліту, розпочиналося вивчення водовіддачі, для цього рівень ґрунтових вод в лізіметрі утримували в межах  $\pm 1$  см від заданого. Воду, що стікала з моноліту, періодично відкачували вакуумним насосом за допомогою трубки (5). Інтенсивність, величину і тривалість водовіддачі записували на стрічці самописця «Валдай». Припинення водовіддачі встановлювали по горизонтальному запису рівня ґрунтових вод на стрічці самописця (1).

На рисунку 4 (крива 1) наведено графік інтенсивності вбирання, інфільтрації і сталої фільтрації при глибокому заляганні ґрунтових вод, коли капілярно-підперта волога відокремлена від ґрунтових вод. Крива 2 характеризує об'єм води ( $\text{м}^3/\text{га}$ ), що надходить на поле на різних стадіях фільтрації. Аналізуючи процес фільтрації, можна бачити, що вбирання триває 1 год 20 хв (ділянка А), за цей час на поверхню ґрунту надходило 34 мм ( $340 \text{ м}^3/\text{га}$ ) води. Середня швидкість вбирання становила 67,0 мм/год. Потім процес вбирання трансформувалася у фільтрацію (ділянка Б) тривалістю 4 год. За цей період на поверхню ґрунту надійшло ще 23 мм ( $230 \text{ м}^3/\text{га}$ ) води. Середня інтенсивність інфільтрації становила 10,5 мм/год.



**Рис. 4. Графік інтенсивності вбирання (А), інфільтрації (Б) і сталої фільтрації (В) води в ґрунт.**

Після інфільтрації мала місце стала фільтрація (ділянка В), середня інтенсивність якої 7,0 мм/год (70 м<sup>3</sup>/га).

Таким чином, за період від початку досліду до настання сталої фільтрації (5 год 20 хв) на поверхню поля надійшло 570 м<sup>3</sup>/га поливної води, вона просочилася (фронт промочування) на глибину 1,2 м, при зволоженні ґрунту перед початком досліду 74% НВ. Величина 570 м<sup>3</sup>/га відповідала величині вбирання та інфільтрації і була близькою до розрахункової поливної норми при глибині промочування 1,2 м. Слід зазначити, що величина вбирання (ділянка А) буде неоднаковою при різному висушуванні поверхневого шару ґрунту перед початком досліду, а інфільтрація і стала фільтрація – величини постійні для даного різновиду ґрунту.

Участь ґрунтових вод у формуванні сумарного випаровування досліджувалася також за допомогою батареї випарників-лізіметрів ГР-80 з глибинами залягання ґрунтових вод 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 і 2,5 м від поверхні ґрунту. За наслідками спостережень складаються таблиці, згідно з якими розраховується участь ґрунтових вод в сумарному випаровуванні при різній глибині їх залягання. Проте в природних умовах глибина залягання ґрунтових вод весь час перебуває в динаміці, тобто підіймається або опускається. Тому при використанні коефіцієнтів з визначення участі ґрунтових вод при розрахунках сумарного випаровування допускаються значні погрішності. Крім того, сам обчислювальний математичний блок дуже громіздкий.

На підставі експериментальних досліджень встановлено, що при оптимальному зволоженні ґрунту (НВ ÷ ВРК), сумарне випаровування не залежить від глибини залягання ґрунтових вод, тобто немає різниці звідки рослина споживає воду – з верхнього шару ґрунту зі змінною вологістю чи з макрокапілярної кайми (ґрунтових вод), головне перекрити витрати вологи на транспірацію. Нижче, в таблиці, наведені величини сумарного випаровування, встановлені за допомогою випарників-лізіметрів ГР-80, в яких рівень ґрунтових вод підтримувався впродовж вегетаційного періоду кукурудзи на глибині 1,0; 1,5; 2,0 і 2,5 м, а також за допомогою гідравлічного ґрунтового балансоміра без ґрунтових вод. Висота ґрунтового моноліту балансоміра становила 3,0 м.

Одержані результати досліджень дають підстави стверджувати, що при оптимальному зволоженні кореневмісного шару ґрунту, сумарне випаровування не залежить від глибини залягання ґрунтових вод.

При неглибокому заляганні ґрунтових вод, вологість ґрунту, визначена термостатно-ваговим методом, не є достатньою характеристикою вологозабезпеченості і водоспоживання рослин, оскільки в даному випадку рослини живляться не стільки за рахунок вологозапасів у ґрунті, скільки за рахунок капілярної вологи, що підіймається від ґрунтових вод і без перешкод проходить через зону аерації [7].

**Величини сумарного випаровування з посівів кукурудзи за червень – серпень встановлені за допомогою випарників-лізіметрів ГР-80 з різною глибиною залягання ґрунтових вод і балансоміра без ґрунтових вод**

Показник	Лізіметри ГР-80				Балансомір без ґрунтових вод
	1,0	1,5	2,0	2,5	
Глибина рівня ґрунтових вод, м					–
Сумарне випаровування, м <sup>3</sup> /га	4340	4590	4520	4480	4500

Велику роль цей вид водного живлення відіграє при високій вологопровідності ґрунту, коли за відсутності атмосферних опадів або поливів рослини використовують переважно капілярну вологу. При цьому рівень вологозапасів в зоні аерації є практично постійним впродовж тривалого періоду.

Слід зазначити, що при дослідженні участі ґрунтових вод в сумарному випаровуванні, при різній глибині їх залягання, за допомогою випарників-лізіметрів з метою керування режимами зрошення сільськогосподарських культур можливі істотні похибки. В даному випадку суттєві похибки в кінцевому результаті (величина участі ґрунтових вод в сумарному випаровуванні) виникають, по-перше, за рахунок похибок при вимірюванні вологості ґрунту в лізіметрі, оскільки в даний час поки що немає приладів, за допомогою яких можливо надійно вимірювати рівень коливання вологозапасів в моноліті лізіметра і, по-друге, тривалість розрахункового періоду, за який визначається сумарне випаровування, дуже велика. Для глибини залягання ґрунтових вод 1 м тривалість розрахункового періоду становить 10 діб, з її збільшенням він також зростає і для глибини 2,5 м дорівнює періоду вегетації, тобто 80–90 днів. Тому для отримання точних величин участі ґрунтових вод в сумарному випаровуванні сільськогосподарських культур необхідно переходити на прямі вимірювання за допомогою гідравлічних ґрунтових балансомірів, дообладнаних водо-регулювальним пристроєм, що підтримує в моноліті балансоміра рівень ґрунтових вод на заданій глибині.

**Висновки.** Величина поглинання вологи є неоднаковою при різному висушуванні по-верхневого шару ґрунту перед початком дослідження, а інфільтрація і стала фільтрація є постійними величинами різновиду ґрунту, що досліджувався. При оптимальному зволоженні кореневмісного шару ґрунту сумарне випаровування не залежить від глибини залягання рівнів ґрунтових вод, що треба враховувати при плануванні режимів зрошення та оперативному корегуванні поливних норм сільськогосподарських культур.

При встановленні показників вологості ґрунту за допомогою випарників-лізіметрів можливі істотні похибки, які заважають правильно встановити строки і норми вегетаційних поливів з врахуванням сумарного випаровування, що пов'язано зі значною тривалістю періодів між одержанням фактичних даних вмісту вологи в ґрунті: для глибини залягання ґрунтових вод до 1 м – 10 діб, а 2,5 м – в межах 80–90 днів.

Для отримання точних показників складових елементів водного балансу, зокрема участі ґрунтових вод в сумарному випаровуванні сільськогосподарських культур, необхідно здійснювати прямі вимірювання за допомогою гідравлічних ґрунтових балансомірів, дообладнаних водорегулювальним пристроєм, що дає можливість користувачам отримувати оперативну інформацію щодо вмісту доступної вологи в ґрунті, оптимізувати режими зрошення, а отже, одержати максимальний економічний ефект від штучного зволоження та знизити антропогенний тиск на довкілля.

### Бібліографічний список

1. Панадиади А. Д. С.-х. мелиорация / А. Д. Панадиади, С. П. Воловский, С. К. Навроцкий. – М.: Колос, 1965. – 502 с.
2. Васильева А. М. Исследование физических свойств почвы / Васильева А. М. – Кишинев: Госиздат, 1952. – 164 с.
3. Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв / Зайдельман Ф. Р. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 448 с., ил.
4. Шепелев А. Е. Водопоглощающая способность почвы Ростовской области при поливе дождеванием / А. Е. Шепелев // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий. – Рязань, 2010. – С. 104–106.
5. Вожегова Р. А. Влияние влагообеспеченности и интенсивности теплоэнергетических факторов на продуктивность гибридов кукурузы в условиях орошения / Р. А. Вожегова, Ю. А. Лавриненко, С. В. Коковихин // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий. – Рязань, 2010. – С. 386–389.
6. Кузьмин П. П. Определение декадных, месячных и сезонных величин с поверхности водосборов и сельскохозяйственных полей / П. П. Кузьмин // Материалы совещания по расчетам водного баланса речных бассейнов и организации комплексных водно-

балансовых и гидрометеорологических наблюдений. – Изд. ГГИ, Валдай, 1966. – С. 89–107.

7. *Аверьянов С. Ф.* Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям / *Аверьянов С. Ф.* – М.: Колос, 1970. – 263 с.
8. *Дубенок Н. Н.* Основные направления развития мелиорации / *Н. Н. Дубенок, И. П. Свинцов* // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий. – Рязань, 2010. – С. 3–10.