

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*ГОПЧЕНКО Є. Д., КІЧУК Н. С.*

## **МЕЛІОРАТИВНА ГІДРОЛОГІЯ**

Конспект лекцій

Одеса  
Одеський державний екологічний університет  
2020

**Г 66**  
**УДК 556.06**

*Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол №10 від 04. 07. 2016 р.).*

**Гопченко Є. Д., Кічук Н. С.**

**Меліоративна гідрологія: конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2016. 111с.**

Конспект лекцій призначений для студентів за спеціальністю «Гідрологія», напрям підготовки «Гідрометеорологія». У конспекті лекцій розглядаються: загальна характеристика зміни водного режиму ґрунту внаслідок меліорації, оцінка природного зволоження території і водно-балансове обґрунтування потреби в меліорації, водний баланс меліорованих територій, меліоративно-гідрологічні заходи на осушуваних системах, вплив водних меліорацій на річковий стік.

Конспект лекцій може бути використаний для денної та заочної форми навчання.

**ISBN 978-966-186-030-7**

© Гопченко Є. Д., Кічук Н. С., 2016

© Одеський державний екологічний університет, 2020

## ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА.....	...5
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	...6
1.1 Предмет меліоративної гідрології та її значення в сучасній науковій і прикладній гідрології .....	...6
1.2 Загальна характеристика зміни водного режиму ґрунту внаслідок меліорації.....	...8
1.3 Екологічні наслідки та задачі обґрунтування зрошення та осушення земель.....	...9
2 ОЦІНКА ПРИРОДНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ТЕРИТОРІЇ І ВОДНО-БАЛАНСОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В МЕЛІОРАЦІЇ.....	..12
2.1 Рівняння природного водного балансу суші.....	..12
2.2 Характеристика умов природної вологозабезпеченості. Методи її визначення.....	..15
2.3 Ґрунтова волога та її характеристики.....	..20
2.4 Залежність ґрунтового випаровування від вологості ґрунту.....	..28
2.5 Методи визначення ґрунтового випаровування.....	..29
2.5.1 Розрахункова формула випаровування із зрошуваних земель України.....	..32
2.6 Моделі інфільтрації в ґрунт на природних і меліорованих схилах...	..34
2.6.1 Інфільтрація на зрошуваних землях України.....	..37
3 ВОДНИЙ БАЛАНС МЕЛІОРОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	..40
3.1 Рівняння оптимізованого водного балансу (водоспоживання). Дефіцити і надлишки зволоження. ....	..40
3.2 Зрошувальна норма водоспоживання (норма нетто), оптимальна в екологічному відношенні та способи її визначення.....	..40
3.3 Види зрошуваних меліорацій. Зрошувальна система. Її елементи та принципи побудови.....	..45
3.4 Режим зрошення. Розрахунок екологічно необхідної поливної норми, кількості й термінів поливу.....	..49
3.5 Способи зрошення і техніка поливу.....	..52
3.6 Види поливів .....	..69
3.6.1 Визначення термінів поливу.....	..70
3.7 Графік гідромодуля і його укомплектовування	..72

4	МЕЛІОРАТИВНО-ГІДРОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ НА ОСУШУВАНИХ СИСТЕМАХ.....	..75
	4.1 Види заболочування і перезволоження ґрунтів.....	..75
	4.1.1 Водний баланс осушуваного масиву.....	..79
	4.2 Гідрологічне обґрунтування методу меліорації і способів осушення земель.....	..79
	4.3 Методи та способи осушення. Осушувані системи та їх характеристика.....	..81
	4.3.1 Захисна та регулювальна мережа.....	..86
	4.3.2 Провідна частина осушувальної системи і водоприймач.....	..92
	4.3.3 Осушувальні системи двостороннього регулювання.....	..95
	4.4 Вплив осушення на родючість ґрунтів.....	..96
	4.5 Вплив осушення на стік з болотних масивів.....	..97
5	ВПЛИВ ВОДНИХ МЕЛІОРАЦІЙ НА РІЧКОВИЙ СТІК.....	..99
	5.1 Розрахунок річкового стоку зміненого зрошенням.....	..99
	5.2 Визначення критичного рівня ґрунтових вод і його екологічна оцінка.....	101
	5.3 Стік із зрошуваних масивів України.....	103
	5.4 Вплив осушувальних меліорацій на річковий стік.....	106
	5.5 Вплив боліт на річковий стік.....	107
	5.5.1 Коливання рівня ґрунтових вод на болотних масивах.....	107
	5.5.2 Випаровування з болотних масивів.....	108
	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	110

## ПЕРЕДМОВА

За загальними кліматичними умовами значна частина території України розташована в зонах нестійкого і недостатнього зволоження, тому продовольче та ресурсне забезпечення країни значною мірою залежить від наявності, стану й ефективності використання зрошуваних земель.

Будівництво зрошувальних, осушувальних та обводнювальних систем із комплексами гідротехнічних споруд потребує ретельних геологічних і гідрологічних досліджень. Вивчення гідрогеологічних умов площ, призначених для зрошення, потрібне для створення оптимального поливного режиму, визначення способів і техніки поливу, для правильного розміщення культур у сівозміні, для складання прогнозу режиму підземних вод і для вибору захисних заходів проти заболочення та засолення ґрунтів.

В основі меліоративної гідрології лежить теорія, моделювання і розрахунок трансформації водного балансу суші внаслідок такого великомасштабного й цілеспрямованого антропогенного впливу на водообіг, яким є меліорація. Меліоративне перетворення природи може бути успішно здійснене лише за належного екологічного обґрунтування проектування, будівництва й експлуатації меліоративних систем і споруд. В основі такого обґрунтування має бути врахування закономірностей трансформації водного балансу в ході меліорації.

При написанні конспекту лекцій авторами використані підручники Гопченко Е.Д., Гушля А.В. «Гидрология с основами мелиорации», Бефані А.М. «Сучасні проблеми меліоративної гідрології» та особистий досвід викладання цієї дисципліни в Одеському державному екологічному університеті.

У конспекті лекцій розглядаються: загальна характеристика зміни водного режиму ґрунту внаслідок меліорації, оцінка природного зволоження території і водно-балансове обґрунтування потреби в меліорації, водний баланс меліорованих територій, меліоративно-гідрологічні заходи на осушуваних системах, вплив водних меліорацій на річковий стік.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1 Предмет меліоративної гідрології та її значення в сучасній науковій і прикладній гідрології

Меліоративна гідрологія – це наука, яка визначає водний режим меліорованих територій і вплив останніх на формування стоку з басейнів річок. У перекладі з латинської мови «меліорація» означає «покращення». Залежно від спрямування здійснюваних меліоративних заходів визначаються такі основні види меліорації земель: агротехнічні, хімічні, культуртехнічні, гідротехнічні, агролісотехнічні. Одним із найбільш працемістких і складних в інженерному плані заходів є гідротехнічна меліорація земель, що охоплює проектування, будівництво й експлуатацію меліоративних (зрошувальних, осушувальних і колекторно-дренажних) систем. Вона має основне значення в економіці, оскільки її головним завданням є створення умов, які забезпечують отримання найвищих урожаїв сільськогосподарських культур. Тому, говорячи про меліорації, звичайно мають на увазі сукупність інженерно-будівельних і господарських заходів, які формують найвищу продуктивність сільськогосподарського виробництва.

Добре знання гідрологічних і метеорологічних умов району дозволить поліпшити й конкретизувати проектування, знизити вартість будівництва, уточнити зрошувальні й поливні норми, оптимізувати режим зрошення й осушення для конкретного року за культурами й фазами їх розвитку. Останнє сприяє підвищенню ефективності меліорації, зменшує такі її можливі негативні наслідки, як заболочування й вторинне засолення зрошуваних земель або пересушування осушуваних територій.

Отже, меліоративна гідрологія – це наука про гідрологічні проблеми меліорації. Такими проблемами є: визначення оптимальних поливних режимів (норм і термінів поливів) і оптимальних норм осушення; вивчення впливу меліоративних заходів на довкілля; прогноз змін природних умов унаслідок меліоративних робіт і обґрунтування рекомендацій щодо зменшення негативних наслідків меліорації.

Основна *мета* меліоративної гідрогеології – наукове обґрунтування меліоративних заходів і керування складними гідрогеологічними процесами під час впровадження меліорацій.

*Об'єктом дослідження* меліоративної гідрології є, насамперед, водний і тепловий баланси меліорованих територій, а також сольовий баланс цих територій.

*Методи досліджень* меліоративної гідрології полягають у:

- вивченні водного й теплового режиму меліорованих територій;
- вивченні фізики процесів волого-теплообміну в системі ґрунт-рослини-атмосфера;

- математичному моделюванні гідрометеорологічного режиму меліорованих територій і фізичних процесів, що відбуваються на них.

Меліоративна гідрологія ґрунтується на досягненнях трьох наук: *гідрології суші, меліорації й агробіології*. З гідрології суші меліоративна гідрологія використовує вчення про водний баланс і формування стоку на водозборах, з меліорації – наукові відомості про технічні можливості перетворення водного режиму сільськогосподарських полів і угідь, а з агробіології – наукове обґрунтування зв'язку рослин із тими умовами довкілля, що характеризують зміни продуктивності рослин. Якщо меліорацію в широкому розумінні можна вважати наукою про докорінне поліпшення (оптимізацію) усіх життєво важливих факторів вирощування сільськогосподарських культур, то меліоративна гідрологія є наукою про шляхи оптимізації, насамперед, водного режиму сільськогосподарських полів.

Становлення й розвиток меліоративної гідрології відбувалися за участю вчених, які представляють різні напрямки науки. Серед них, у першу чергу, слід назвати С.Ф. Авер'янова, А.М. Алпатьєва, О.М. Костякова, С.Д. Лісогорова, В.С. Мезенцева, Н.С. Петінова, О.А. Роде, а також зарубіжних фахівців Клятта, Х.Л. Пенмана, Ч.У. Торнтвейта, Тюрка та ін.

У наш час широкий розвиток меліорацій (зокрема – зрошення на Півдні України) призвів до глибоких змін природних умов, особливо тих факторів, які формують гідрологічні процеси, водний баланс суші, випаровування, поверхневий і підземний стік.

Антропогенні впливи на елементи водного балансу суші різноманітні. До них належать, насамперед, ті дії, які змінюють баланс або природний режим вод суші. Це різні види водогосподарського будівництва, разом із інженерною меліорацією, включно зі зрошенням сільськогосподарських культур; осушення ґрунтів для потреб сільського господарства, торфдорозробок, лісового господарства; регулювання стоку, що змінює його багаторічний або внутрішньорічний режим із метою забезпечення водою сільського, міського господарства та водного транспорту в маловодні роки або сезони; регулювання річкових русел для поліпшення судноплавства і лісосплаву; перекидання води в басейни річок, що не мають достатніх водних ресурсів; будівництво судноплавних каналів або каналів, що підводять воду споживачеві тощо.

Досить великий гідрологічний ефект має господарська діяльність. Її впливами є: хімічна меліорація, введення нових сівозмін, будівництво доріг, яке змінює шляхи схилового стоку, пересушування боліт, засолення земель при надлишковому зволоженні.

Урахування різного роду антропогенних впливів на гідрологічні процеси, на характеристики стоку, на трансформацію водного балансу сьогодні є однією з найголовніших проблем наукової і прикладної гідрології.

Стають непридатними наявні методики розрахунку і прогнозу характеристик річкового стоку та інших елементів водного балансу. Необхідний перехід до нових методик, які враховують ефект антропогенних впливів, що змінюються з плином часу.

Розвиток і оцінка механізму впливу меліорації на гідрологічні процеси відбувається у двох напрямках:

- для розрахунку гідрологічних характеристик під впливом господарської діяльності, різної за інтенсивністю й характером;
- для розробок тих форм і методик меліорації, які є оптимальними за умови створення сприятливої екологічної обстановки.

Обидві ці проблеми – урахування гідрологічного ефекту антропогенних впливів і оцінка їх екологічних наслідків, мають одну й ту саму наукову основу – теорію та розрахунок трансформації водного балансу ділянок суші внаслідок господарської діяльності.

Як відомо, гідрологічні процеси мають регіональний характер, що потрібно враховувати, оцінюючи антропогенні впливи на водний режим, а також їх екологічне обґрунтування. Під час вивчення предмету будуть розглянуті як загальні проблеми теорії, моделювання і розрахунку трансформації водного балансу внаслідок меліорації, так і шляхи вирішення цих проблем за специфічних умов регіонів України.

## **1.2 Загальна характеристика зміни водного режиму ґрунту внаслідок меліорації**

Зрошення й осушення земель спричиняють докорінну трансформацію водного балансу – виникнення нових природних умов. Відбуваються не тільки кількісні зміни водного і сольового режиму ґрунтів, а змінюється сама суть процесу водообміну. Так, після осушення боліт поверхневий стік зі схилів перетворюється на дренажний ґрунтовий, зовсім інший за величиною й динамікою в часі. При зрошенні виникає своєрідний за генезисом зворотний поверхневий і підземний стік поливних вод, утворюється особливий вид розмивання ґрунту – іригаційна ерозія.

За рахунок водоподавання на схили під час зрошення і створення високої ґрунтової вологості значно збільшується поверхневий стік дощових і талих вод і, найважливіше, просочування в ґрунтові води, що призводить до підвищення їх рівня. Горизонт ґрунтових вод може підтопити ґрунт, що іноді спричиняє його засолення. Дослідження гідрологічного й господарського ефекту меліорації та встановлення раціональних у техніко-економічному й екологічному відношенні методів їх розрахунку є однією з найважливіших проблем наукової і прикладної гідрології.

Водогосподарські заходи, особливо сільськогосподарська меліорація, регулювання стоку та використання гідрографічної мережі як водоприймачів,



значно впливають на водний режим і водні ресурси, клімат, ґрунтовий покрив, рослинний і тваринний світ, інші компоненти природного середовища не лише територій, на яких ці заходи здійснюються, а й сусідніх. При цьому змінюються як структурні елементи екологічних систем (вода, ґрунт, рослинний і тваринний світ тощо), так і їх функціональні складові, тобто волого-, тепло-, солеобмін тощо.

Вплив зрошувальних і осушувальних меліорацій на природне середовище відбивається на регіональному рівні, поширюючись на значну частину України. На Півдні країни, де зрошуються великі площі земель, різко змінився режим річкового стоку внаслідок його зарегулювання і забору води у великих об'ємах. Змінилися рівні ґрунтових вод, їх мінералізація, сформувався своєрідний мікроклімат. Поряд із передбачуваними виникли й непередбачені зміни: підтоплення і вторинне засолення земель, іригаційна ерозія ґрунтів, забруднення поверхневих і підземних вод та інші небажані явища і процеси.

Під час осушення боліт і заболочених земель у північній і південно-західній частинах території України також відбуваються зміни: рівні ґрунтових вод знижуються, змінюються рослинний світ, вологість ґрунтів тощо.

### **1.3 Екологічні наслідки та завдання обґрунтування зрошення й осушення земель**

Метою зрошення є докорінне поліпшення екологічних умов, підвищення урожайності сільськогосподарських культур за рахунок створення оптимального зволоження ґрунту. Але з огляду на величезне різноманіття та взаємозв'язки процесів, які формують природні умови, зрошення має не тільки позитивні, а інколи й негативні екологічні наслідки, дещо зменшуючи природні ресурси. Серед негативних наслідків, у першу чергу, слід назвати:

1) підвищення рівня ґрунтових вод за рахунок збільшення поглинання, здатного спричинити перезволоження ґрунту і навіть його засолення;

2) руйнування ґрунтової структури внаслідок ерозії ґрунту через надмірне дощування, надзвичайно інтенсивне або тривале;

3) вимивання із ґрунту гумусу, солей, потрібних рослинам, внаслідок водоподавання, що перевищує вбирну спроможність ґрунту.

Зазначені екологічні наслідки виникають і загострюються, якщо в процесі експлуатації меліоративних систем застосовуються надлишкові зрошувальні й поливні норми.

Несприятливі екологічні наслідки зрошення мають бути усунені за рахунок розробки належного гідрологічно обґрунтованого режиму зрошення, уточнення проектних нормативів, екологічно правильної експлуатації систем – нормування поливів, що враховує умови конкретних років, і правильно виконаного водоподавання.

Осушення боліт і мінеральних ґрунтів – необхідна умова освоєння земельних ресурсів зони надлишкового зволоження для землеробства, тваринництва і торфозоробок. Унаслідок осушення, відведення надлишкових поверхневих і ґрунтових вод, змінюється не тільки водний баланс, але й сам ґрунт, набуваючи нових фізичних і хімічних властивостей, створюються нові екологічні умови. Штучно створений ґрунтотвірний процес може відбуватися по-різному: залежно від розрахункових нормативів осушення, від характеру й конструкції осушувальних систем, особливостей осушуваних масивів. Осушення створює умови, сприятливі для освоєння земель, пасовищ і землеробства. Але якщо осушення виконане без належного гідрологічного та меліоративно-технічного обґрунтування, його екологічні наслідки можуть бути негативними. Так, якщо перевищена інтенсивність осушення (густота мережі, глибина осушників), то болота, розташовані у південній смузі зони надлишкового зволоження, можуть втратити частину корисної вологи у верхньому ярусі ґрунту. В зоні несталої зволоження пересушування мінерального перезволоженого ґрунту може супроводжуватись його засоленням: при швидкому скиданні зливових вод просочування крізь ґрунт по вертикалі вниз стає малим; переважають, особливо в сухі роки, висхідні токи від високих ґрунтових вод, які вміщують солі. Випаровування формує накопичення солей.

У районах помірного зволоження, де болота й мінеральні перезволожені землі утворюються не за рахунок надлишку опадів, а шляхом припливу периферійних вод (нагірних, річкових), пересушування та засолення ґрунтів можуть створюватись будь-якою водовідвідною системою, що вкриває масив. У цьому випадку припустиме лише будівництво захисних (нагірних, ловильних, прирічкових) каналів, часто в поєднанні з методами двосторонньої меліорації. Таким чином, воднобалансове обґрунтування способу осушення й методики його розрахунку необхідне для того, щоб запобігти негативним екологічним наслідкам меліорації.

До тематики екологічного обґрунтування проектів зрошення земель відносять:

- визначення такої зрошувальної норми, яка забезпечить ґрунтову вологість на екологічно оптимальному середньому рівні;
- установлення такого проектного режиму зрошення, за якого коливання ґрунтової вологості відбуваються в інтервалі, що забезпечує високу врожайність (тобто в межах від мінімально допустимої до максимально допустимої вологості);
- визначення поливної норми за умови, щоб ґрунтова вологість кореневого шару істотно не перевищувала його водоутримуючу здатність;
- вибір ґрунтозбережної технології дощування (його інтенсивність і тривалість повинні бути такими, щоб запобігти істотному

поверхневому стоку, руйнуванню ґрунтових агрегатів і поверхневій ерозії);

- установа такого водозабору із річки (норми бруто) і такого водоподавання, за яких підвищення рівня ґрунтових вод було б допустимим. Найважливіше – забезпечити екологічно сприятливий режим експлуатації меліоративних систем, що враховує особливості кожного конкретного року.

Для екологічного обґрунтування експлуатації зрошувальних систем необхідно встановити зрошувальні норми, які відповідають імовірним очікуваним умовам зволоження конкретних років (або середнім багаторічним умовам за відсутності довгострокових прогнозів) і відповідний режим зрошення. Потім заплановані експлуатаційні нормативи піддаються поточному коригуванню за матеріалами воднобалансових спостережень із урахуванням короткотермінових прогнозів вологості або її динаміки, що відповідає рокам, найближчим за попереднім зволоженням.

Екологічне обґрунтування осушення (а також і двосторонніх меліорацій) відбувається шляхом вибору такої норми водовідведення, відповідної густоти і пропускної спроможності мережі, що забезпечують створення оптимальної вологості ґрунтового шару (до глибини, що іменується "нормою осушення").

### **Запитання для самоконтролю**

1. Предмет і завдання меліорації.
2. Від яких природних умов залежить правильний вибір способів проведення гідромеліорацій?
3. Для чого необхідне зрошення?
4. Назвіть негативні екологічні наслідки проведення зрошення.

## 2 ОЦІНКА ПРИРОДНОГО ЗВОЛОЖЕННЯ ТЕРИТОРІЇ І ВОДНО-БАЛАНСОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В МЕЛІОРАЦІЇ

### 2.1 Рівняння природного водного балансу суші

Кругообіг води в природі – це безупинний замкнений процес циркуляції води на земній кулі. Він відбувається під впливом сонячної радіації і сили тяжіння. Під впливом сонячної радіації з поверхні морів і океанів, які займають близько 71 % площі земної кулі, щороку випаровується величезна кількість води – 505 тис.км<sup>3</sup>. З поверхні суходолу випаровується 72 тис.км<sup>3</sup> щороку. Вода, що випарувалась із поверхні океанів, морів і суходолу, в атмосфері конденсується і випадає у вигляді опадів. Річна сума опадів, які випадають на поверхню океану, становить 458 тис.км<sup>3</sup>, що менше за випаровування. Опади, які випали на суходіл, стікають у вигляді струмків і річок, частково поповнюють підземні води, а частково знову випаровуються, щоб випасти у вигляді дощу чи снігу. На шляху від океану в глиб материка процес випаровування-опадів-випаровування повторюється багато разів.

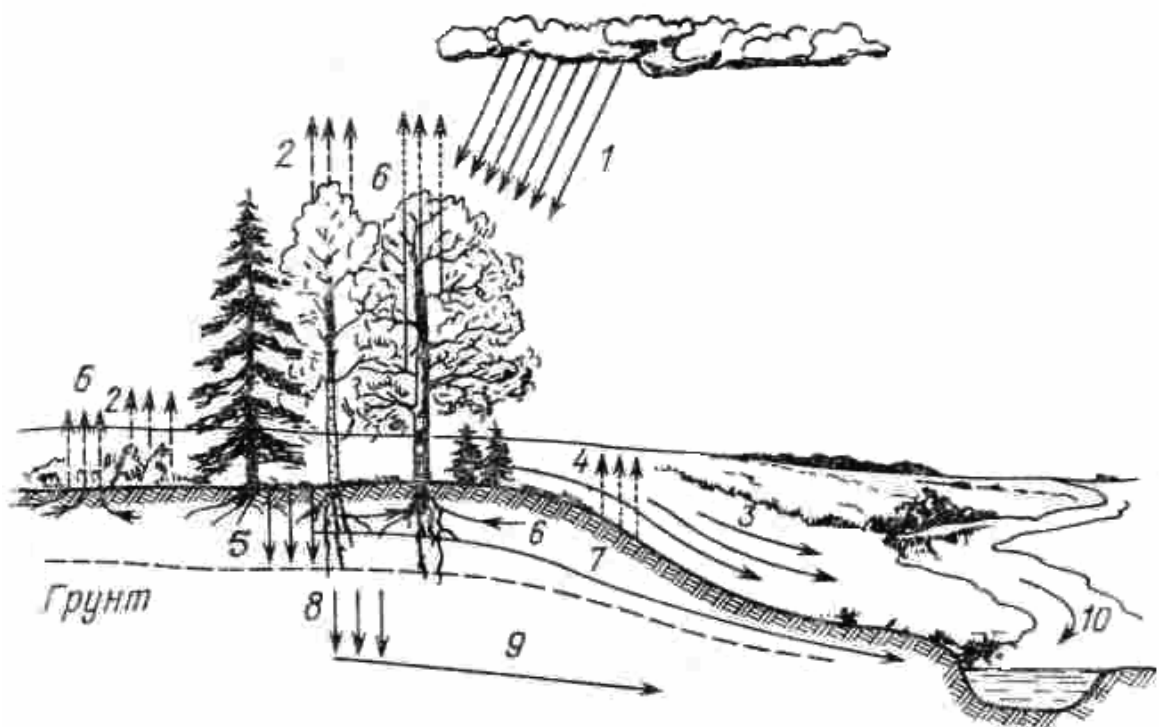


Рис. 2.1 Кругообіг води в природі (за О.А. Роде):

1 – опади; 2 – випаровування опадів з поверхні рослин; 3 – поверхневий стік; 4 – випаровування з поверхні ґрунту; 5 – інфільтрація опадів у ґрунт; 6 – транспірація ґрунтової вологи рослинами; 7 – ґрунтовий стік; 8 – просочування вологи в підземні води; 9 – підземний стік; 10 – річковий стік.

Зволоженість різних районів земної кулі неоднакова внаслідок загальної циркуляції атмосфери, що зумовлено нерівномірним нагріванням океанів і континентів та різними умовами випаровування й конденсації вологи. Тому одні райони постійно надмірно зволожені, інші – посушливі.

*Водний баланс* – це співвідношення прибуткової і витратних частин кругообігу води на будь-якій території, аж до Землі в цілому. Водний баланс може розглядатися за будь-який проміжок часу – рік, місяць, декаду, декілька років тощо. Враховується надходження, витрата й акумуляція (зміна запасів) води для річкового басейну чи ділянки території, озера, болота або іншого досліджуваного об'єкта. Загалом врахуванню підлягають атмосферні опади, конденсація вологи, горизонтальне перенесення і відкладання снігу; поверхневий і підземний приплив, випаровування, поверхневий і підземний стік, зміна запасів вологи у ґрунті тощо.

Користуючись *методом водного балансу* можна здійснити зіставлення окремих джерел надходження вологи в різні періоди часу в межах досліджуваної території й установити ступінь їх впливу на загальний хід формування водного режиму досліджуваного об'єкта. На основі взаємопов'язування окремих компонентів водного балансу можна встановити й шляхом аналізу усунути можливі похибки вимірів і оцінити точність отриманих результатів.

Нарешті, метод водного балансу дозволяє непрямым шляхом визначити за різницею між визначеними величинами той із компонентів балансу вологи (опади, випаровування, фільтрація), який за даних умов важко виміряти, але знання якого буває необхідним для з'ясування загальних закономірностей кругообігу води в межах розглянутого простору.

Для розрахунку трансформації водного балансу ґрунту внаслідок меліорації і обґрунтування екологічно оптимальних норм зрошення або водовідведення необхідно оцінити природний баланс, наявний у кліматичних умовах меліорованого масиву.

Рівняння водного балансу ґрунту в природних умовах має вигляд [3]:

$$x - E - Y_{нов} - U = \Delta W_2, \quad (2.1)$$

де  $x$  – опади, мм;

$E$  – ґрунтове випаровування, мм;

$Y_{нов}$  – поверхневий стік, мм;

$U$  – просочування води у підґрунт і далі в ґрунтові води;

$\Delta W_2$  – акумуляція води в ґрунті за інтервал часу, що розглядається (зазвичай за рік).

Грунтовим дренажним стоком, надто малим на звичайних рівнинних схилах, як правило, нехтують. Для багаторічного періоду  $\Delta W_z = 0$ , тоді

$$x_0 - E_0 - Y_{нов} - U = 0, \quad (2.2)$$

де  $x_0, E_0, Y_{нов}, U$  – відповідно, норми опадів, випаровування, поверхневого стоку і просочування. Баланс ґрунтових (підземних) вод у межах річкового басейну визначається за рівнянням:

$$U_0 - U_H - Y_{zp} = \Delta W_{zp}, \quad (2.3)$$

де:  $U_0$  – норма ґрунтового просочування;

$U_H$  – просочування води в ґрунти, що лежать глибше від товщі  $H$ , дренажної річковою системою;

$Y_{zp}$  – стік підземних вод;

$\Delta W_{zp}$  – акумуляція в підземних водах.

Суміщаючи рівняння балансів (1.1) та (1.3) отримуємо рівняння для стоку за рік:

$$X - E - Y - U_H = \Delta W_{zp} + W_z, \quad (2.4)$$

де

$$Y = Y_{нов} + Y_{zp} \quad (2.5)$$

Величина  $U_H$  швидко зменшується зі збільшенням глибини дренажування. На значних річкових басейнах вона практично дорівнює 0, тому що води, які лежать глибше від дна таких річок, практично не мають розвантаження. Розглядаючи значні річкові басейни і переходячи до середньобагаторічних величин, отримаємо рівняння балансу суші у такому вигляді:

$$x_0 - E_0 - Y_0 = 0 \quad (2.6)$$

Випаровування і стік залежать від ґрунтової вологості –  $V$ , збільшуючись із величиною останньої, тобто:

$$E_0 = f_1(V) \quad \text{і} \quad Y_0 = f_2(V) \quad (2.7)$$

Функції  $f_1$  і  $f_2$  установлені для степової зони України та низки інших регіонів.

Підставляючи значення випаровування і стоку, виражені через ґрунтову вологість  $V$ , до рівняння багаторічного балансу, одержимо співвідношення, із якого можна визначити те значення  $V = V_{кл}$ , за якого опади, що випадають у певній географічній точці, балансуються з випаровуванням і стоком. Цю величину  $V$  називають *кліматичною нормою* ґрунтової вологості. Значення  $V_{кл}$  можна визначити як на основі вищеописаного балансового розрахунку, так і безпосередньо – шляхом усереднення даних багаторічних спостережень за ґрунтовою вологістю, які ведуться на агрометеорологічних, стокових та інших дослідних станціях. Значення  $V_{кл}$  можна картувати. Величина  $V_{кл}$  є дуже важливою гідролого-меліоративною характеристикою; її зіставлення (порівняння) з оптимальною для сільськогосподарських культур ґрунтовою вологістю показує ступінь потреби в меліорації та її спрямованість.

## **2.2. Характеристика умов природної вологозабезпеченості. Методи їх визначення**

Потреба в тих або інших видах гідромеліорації та вибір необхідних способів їх виконання значною мірою залежать від природних умов. Першорядну роль при такому виборі відіграють умови *природної вологозабезпеченості*. Тому першим кроком у встановленні режимів гідромеліорації і є визначення кількісних характеристик цих умов.

*Природна вологозабезпеченість* активної поверхні – найважливіший елемент комплексу природних продуктивних сил, що беруть участь у біологічному процесі взагалі й у процесі сільськогосподарського виробництва особливо. Значна мінливість природної вологозабезпеченості в багатьох районах країни ускладнює накопичення даних про її кількісні характеристики, їх аналіз, виявлення закономірностей.

Як відомо, кількість вологи в ґрунтовому покриві визначається не тільки кількістю атмосферних опадів, але й їх витратою на стік і випаровування.

Головним фактором випаровування за наявності вологи є сонячна енергія. Тому кількісні характеристики вологозабезпеченості поряд із атмосферними опадами, формуються й визначаються кількістю тепла на земній поверхні. Інакше кажучи, кількісні характеристики вологозабезпеченості повинні розглядатися як результат процесу тепло- і вологообміну в цілому.

Іншими важливими факторами вологозабезпеченості є різноманітні *фізико-географічні умови*, до яких насамперед варто віднести ґрунтово-ботанічні, геоморфологічні, гідрологічні, гідрогеологічні та ін.

Дослідниками запропоновано багато методів визначення кількісних характеристик вологозабезпеченості земної поверхні. До *першої групи*

методів належить оцінка умов вологозабезпеченості за матеріалами безпосередніх багаторічних спостережень за окремими елементами водного балансу у формі таблиць і картографічних схем (Д.І. Кочерін [1]; Д.Л. Соколовський, [1] та ін.).

Узагальнення даних про розподіл у часі й просторі таких непрямих теплоенергетичних характеристик клімату, як *температура, відносна вологість і дефіцит вологості повітря*, виконані в галузі кліматології й метеорології. До цієї ж групи методів належать ті, що одержали останнім часом великий розвиток – узагальнення накопичених матеріалів актинометричних спостережень і розрахункових значень елементів радіаційного й теплового балансів.

Однак у дуже багатьох випадках результатів таких узагальнень недостатньо. Необхідні інші кількісні характеристики, які можливо порівняти у всіх гідролого-кліматичних умовах. Маються на увазі різного роду відносні показники, що відбивають певною мірою два основних фактори вологозабезпеченості: ресурси тепла й ресурси вологи. Другу групу методів і становлять ці відносні показники.

Уперше метод відносних показників умов природної вологозабезпеченості був запропонований у Росії К.С. Веселовським [1]. Він зробив спробу узагальнити наявні нечисленні дані про атмосферні опади й випаровуваність із водної поверхні, отримані за допомогою найпростіших випарників. О.І. Воейков і В.В. Докучаєв використовували відношення річних сум опадів до випаровуваності для характеристики клімату різних ґрунтово-ботанічних зон. Надалі цей і подібні до нього коефіцієнти співвідношення кількості вологи й тепла були використані Г.М. Висоцьким і іншими дослідниками під час вивчення кліматичних умов різних країн.

Велике поширення одержав так званий *гідротермічний коефіцієнт* Г.Т. Селянинова, який є відношенням суми опадів до суми добових значень температури вищої за 10 С° за період вегетації поділеної на 10:

$$k_c = x / (0,1 \cdot \sum t_{10C}) \quad (2.8)$$

*Гідротермічний коефіцієнт* Г.Т. Селянинова, на думку самого автора, був покликаний відображати ступінь відшкодування фактичними атмосферними опадами необхідної для високопродуктивного росту й розвитку рослин кількості вологи, що відповідає теплоенергетичним ресурсам клімату. Шляхом порівняння обчислених річних значень цього коефіцієнта для значної кількості метеопунктів усіх материків земної кулі з положенням природних рослинних зон і їхніх меж Г.Т. Селянинов склав шкалу, що оцінює умови природного зволоження. При цьому були використані занижені значення опадів. Коефіцієнт Г.Т. Селянинова не може



використовуватись для оцінки вологозабезпеченості внутрішньорічних періодів, тому що він не враховує внутрішньорічний перерозподіл вологи.

Серед названих відносних показників вологозабезпеченості можна зупинитися на таких. *Коефіцієнт зволоження М.М. Іванова* визначається як:

$$k_u = x / E_0 , \quad (2.9)$$

де  $x$  – середньобогаторічна сума опадів, мм;

$E_0$  – випаровуваність із водної поверхні (мм), що визначається за окремі місяці за формулою:

$$E_0 = 0,0018 \cdot (25 + t)^2 (100 - a) , \quad (2.10)$$

де  $a$  – середня за місяць середньодобова відносна вологість повітря, %;

$t$  – середньомісячна температура повітря, °С.

Формула (2.10) отримана за даними водного балансу великих озер і водоймищ світу. Зазвичай, випаровуваність із водної поверхні якоюсь мірою відбиває енергетичні ресурси клімату. Однак через розбіжності головним чином радіаційних і теплофізичних умов і властивостей водної поверхні й поверхні суші випаровуваність не може представляти енергетичні ресурси процесу сумарного випаровування суші. До того ж взята пропорційність випаровуваності квадрату температури повітря недостатньо точно відбиває дійсну залежність пружності водяної пари від температури повітря.

*Другим істотним недоліком* коефіцієнта зволоження М.М. Іванова є те, що сума опадів у чисельнику не враховує внутрішньорічного перерозподілу вологи – перехідних залишків вологозапасів на початок і кінець розрахункового періоду.

Якщо уявити можливий випадок відсутності атмосферних опадів у розрахунковому періоді, то коефіцієнт зволоження дорівнюватиме нулю. Насправді ж розглянутий розрахунковий період може характеризуватися зволоженням ґрунту опадами попереднього періоду. Наприклад, у степовій зоні в травні й червні часто дощів немає або дуже мало, але ґрунт буває вологим за рахунок переходу вологозапасів з осені й від танення снігу навесні.

*Третій недолік* цього коефіцієнта полягає в тому, що при розробці шкали характерних його значень з метою районування поверхні суші за умовами зволоження, М.М. Івановим використані не уточнені (занижені) суми опадів, особливо в зимові місяці.

Принципово новою відносною характеристикою природних умов тепло- і вологозабезпеченості є запропонована *М. І. Будико*, сенс якої полягає в тому, що як показник умов природного зволоження й теплозабезпеченості

взято відношення річного радіаційного балансу діяльної земної поверхні до кількості тепла, яке здатне випарувати річну суму атмосферних опадів, тобто

$$k_6 = R / (LX) , \quad (2.11)$$

де  $R$  – радіаційний баланс за річний відрізок часу, кДж/см<sup>2</sup>;

$L$  – питома (прихована) теплота випаровування, кДж/см<sup>3</sup>;

$X$  – опади, см/рік.

Цей показник одержав назву „індекс сухості” клімату.

Оригінальність і принциповість цього показника полягає в зіставленні двох фізично конкретних кількісних характеристик, які представляють тепло й вологу, що надходять на земну поверхню.

Однак індекс сухості деякою мірою відображає лише середні річні умови зволоження й теплозабезпеченості. Він не може бути використаний для характеристики внутрішньорічних періодів у зв'язку з тим, що протягом холодної пори року радіаційний баланс поверхні, що підстилає, має від'ємний знак, а атмосферні опади в силу їх твердого стану в цей період часу не є ресурсами зволоження. Навпаки, у теплу пору року опади є лише частиною водних ресурсів фізико-географічних процесів на поверхні, що підстилає, тому що значну роль у водопостачанні цих процесів у літній період відіграють перерозподілені опади зимового періоду.

Розглянуті вище показники вологозабезпеченості широко використовуються з метою районування природних умов. Проте, всі ці характеристики, а отже, й виконане на їх основі районування не можна визнати досконалим.

Зволоженість певного масиву краще за все характеризує зіставлення кліматичної карти ґрунтової вологості  $V_{кл}$  з оптимальною для урожайності сільськогосподарських культур вологістю  $V_{opt}$ . Якщо  $V_{кл}$  значно перевищує  $V_{opt}$  (приблизно на 25-33 %), то необхідно проводити осушення. Якщо ж  $V_{кл}$  складає менше 55-70 % від  $V_{opt}$ , це вказує на доцільність зрошення. При величинах  $V_{кл}$ , відмінних від  $V_{opt}$  менше, ніж на 35-30 %, інженерні меліорації замінюють агролісомеліоративними й агротехнічними способами регулювання ґрунтової вологості. Оскільки дані для визначення і картування кліматичної норми ґрунтової вологості є не повсюдними, на практиці застосовують також інші способи оцінки ступеня зволоження території та потреби в меліораціях.

О.М. Костяков запровадив як характеристику ступеня зволоження «коефіцієнт водного балансу», що дорівнює відношенню опадів з відрахуванням стоку, або прибутку вологи, до нормального випаровування, тобто до витрати вологи в умовах оптимального зволоження.

$$K = X - Y_{onm} / E_{onm} \quad (2.12)$$

Стік  $Y_{onm}$  у цьому виразі слід визначити, як і випаровування  $E_{onm}$ , не за його фактичною величиною, а в оптимальних умовах зволоження. Якщо  $K$  дорівнює 1, то, згідно з О.М. Костяковим, зволоження є оптимальним, при  $K > 1$  – недостатнім. Застосування осушення обумовлюють коефіцієнтом водного балансу  $K > 4/3$ , а зрошення – величиною  $K < 2/3$ . Але ці нормативи не можна вважати остаточно установленими.

Для обґрунтування способу меліорації обчислюють коефіцієнт водного балансу щомісяця, за вегетаційний період і в цілому за весь рік. Далі обчислюють щомісячні дефіцити і надлишки вологи та суми цих величин за періоди безперервного внутрішньорічного надлишку або нестачі вологи. Це дає характеристику періодичності зволоження протягом вегетаційного періоду і дозволяє уточнити способи меліорації.

Більш повне уявлення про природну забезпеченість вологою різних регіонів України дає її районування за величиною середнього багаторічного коефіцієнта зволоження, запропонованого Інститутом гідротехніки і меліорації [7]:

$$K_3 = \frac{\Sigma P + W_0}{\Sigma E_0}, \quad (2.13)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт зволоження;

$\Sigma P$  – сума атмосферних опадів за вегетаційний період, мм;

$W_0$  – активні вологозапаси у метровому шарі ґрунту на початок вегетаційного періоду, мм;

$\Sigma E_0$  – випаровування з водної поверхні за вегетаційний період, мм.

Аналіз умов території України за значеннями  $K_3$  дає підставу вважати, що у степовій і на значній частині лісостепової зони високопродуктивне вирощування сільськогосподарських культур, особливо вологолюбних, можливе тільки за умови зрошення. Саме дефіцит природного зволоження на значній території України у поєднанні з високою забезпеченістю тепловими ресурсами, сонячною радіацією та родючими ґрунтами є об'єктивною природною передумовою розвитку зрошення земель. При цьому зрошення необхідно розглядати як фактор істотного підвищення продуктивності землеробства і зменшення його залежності від несприятливих кліматичних умов [7].

Ще одним дуже важливим фактором, який необхідно враховувати, аналізуючи передумови існування й розвитку зрошення в Україні, є глобальні зміни клімату. На глобальному і, як наслідок, на регіональному рівнях зміни клімату стали незаперечним фактом, наявність якого поставила

перед людством проблему розв'язання цілої низки надзвичайно важливих і складних проблем, пов'язаних із розробкою та реалізацією стратегії свого існування в умовах глобальних змін клімату.

## 2.3 Ґрунтова волога та її характеристики

*Водним режимом ґрунту* називають сукупність усіх явищ, що визначають надходження, розповсюдження, витрату ґрунтової вологи та зміну її фізичного стану. Цей режим є одним із найважливіших факторів ґрунтоутворення й однією з головних умов ґрунтової родючості. Від вмісту води залежать технологічні властивості ґрунту (здатність деформуватися, кришитися тощо), фізичні, фізико-хімічні й мікробіологічні процеси, що зумовлюють перетворення поживних речовин, переміщення їх у ґрунті й надходження з водою в рослини. Нестача і надлишок ґрунтової вологи порушує нормальне постачання сільськогосподарських культур водою, поживними речовинами й киснем. Водний режим ґрунту визначається метеорологічними умовами, властивостями ґрунту, рельєфом, характером рослинного покриву, особливостями сільськогосподарських культур і агротехнікою.

Джерелом ґрунтової води є, головним чином, атмосферні опади. Часто значну роль відіграють також близько розташовані ґрунтові води (не глибше за 3-4 м), капілярним підтоком яких зволожується ґрунт. У районах зрошуваного землеробства запаси ґрунтової вологи поповнюються поливами.

У ґрунті вода зазнає впливу різноманітних сил, за допомогою яких вона пересувається або затримується. Головними силами, які діють на ґрунтову воду, є сорбційні, меніскові та гравітаційні.

*Сорбційні* сили виникають завдяки специфічній будові молекули води (диполі, із зарядами протилежного знаку, які мають властивість асоціюватись один з одним, притягуватись іонами та колоїдними частинками: явище притягування диполів води іонами та ґрунтовими частинками називається *гідратацією*). *Меніскові (капілярні)* сили зумовлюються поверхневим натягом води. *Гравітаційні* сили впливають в основному на вільну вологу в ґрунті.

З фізичної точки зору вода може знаходитись у *трьох станах* – твердому, пароподібному, рідкому. *Тверда вода* – лід, який утворюється при від'ємній температурі, малоактивний кристалічний стан води. Це потенційне джерело води рідкої й пароподібної, в яку лід переходить при таненні й випаровуванні.

*Пароподібна вода* – міститься в ґрунті при будь-якій вологості в порах, вільних від рідкої води. Її у ґрунті мало (не більше за 0,001 %), вона знаходиться у вигляді водяної пари. Ця вода рухається від ділянок з високою пружністю водяної пари до ділянок із нижчою пружністю, із верхніх шарів ґрунту – в атмосферу, а за певних умов конденсується в рідкий стан.

*Рідка вода* – знаходиться на порах, найдоступніша рослинам, найбільш рухома, відіграє винятково важливу роль у ґрунтах. Розрізняють *хімічно зв'язану, фізично зв'язану та вільну* форми рідкої ґрунтової води залежно від характеру її зв'язку з твердою фазою ґрунту.

*Хімічно зв'язана вода* входить до складу твердої фази ґрунту, не пересувається, не бере участі у фізичних процесах, не випаровується, у формуванні водного режиму участі не бере. Поділяється на *конституційну та кристалізаційну*.

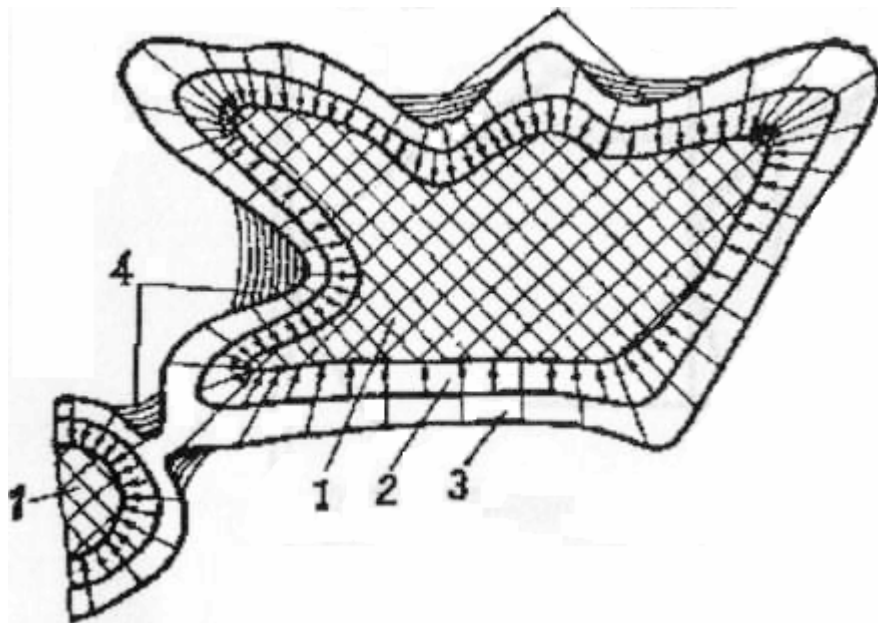
*Фізично зв'язана (сорбована)*. Це вода, сорбована поверхнею ґрунтових часток, вона може сорбуватись як із пароподібного, так і з рідкого стану. Фізично зв'язана вода за міцністю зв'язку з твердими частинками ґрунту поділяється на:

а) *щільно зв'язану (гігроскопічну)*. Це вода, поглинена ґрунтом із пароподібного стану. Властивість ґрунту сорбувати пароподібну воду називається гігроскопічністю. Ця вода утримується частинками ґрунту під дуже великим тиском, тому нерухома, дуже ущільнена, не доступна рослинам (рис. 2.2).

Максимальна кількість води, яку може поглинути ґрунт із пароподібного стану при відносній вологості повітря близький до 95-100 %, називається максимальною гігроскопічністю (МГ).

На величину МГ суттєво впливає величина питомої поверхні ґрунтових частинок (мінералогічний, гранулометричний склад, гумусованість).

б) *слабко зв'язану (плівкову)*.



**Рис. 2.2 Сорбція води ґрунтом (за Н.А. Качинським):**

1 – ґрунтова частинка; 2 – шар щільно зв'язаної води; 3 – шар слабо зв'язаної води; 4 – вода капілярної конденсації.

Вода, яка утримується в ґрунті сорбційними силами зверху МГ – це вода плівкова, або слабкозв'язана. Утворює полімолекулярну плівку навколо ґрунтових частинок. Плівкова вода може переміщуватися в рідкому стані від ґрунтових частинок із більш товстими водяними плівками до частинок, у яких вони тонші.

Максимальна кількість плівкової води в ґрунті називається *максимальною молекулярною вологомісткістю* (ММВ).

*Вільна вода.* Це вода, яка міститься в ґрунті зверху ММВ, знаходиться поза дією сорбційних сил. У ґрунтах вона наявна у двох формах:

а) *капілярна* вода – утримується в ґрунті в порах малого діаметра (< 8 мм) капілярними (менісковими) силами. Капілярна вода рідка, рухома, розчиняє й переміщує речовини, доступна рослинам. Поділяється на капілярно-підвішену, капілярно-підперту залежно від джерела зволоження ґрунту.

*Капілярно-підвішена* вода заповнює капілярні пори при зволоженні згори (після дощу, поливу). Вона може рухатись у всіх напрямках.

*Капілярно-підперта* вода утворюється в ґрунтах при піднятті води знизу від горизонту ґрунтових вод капілярами на деяку висоту. Може підніматись від 0,5 до 6 м. Висота й швидкість капілярного підняття води залежать від діаметра пор, а отже – від гранулометричного складу, структурності будови профілю ґрунту. Так, висота для різних ґрунтів коливається в межах:

- піщані – 18-22 см;
- супіщані – 100-150 см;
- суглинкові – 150-300 см;
- глинисті – 600-1000 см;
- лес – 250-350 см.

б) *гравітаційна* вода – переміщується в ґрунті під дією гравітаційних сил, тобто під дією власної ваги, знаходиться поза впливом сорбційних і капілярних сил, рідка, має високу розчинну здатність, рухома, доступна рослинам.

Рух гравітаційної води крізь ґрунт називається *фільтрацією*.

Під водно-фізичними властивостями ґрунту розуміють сукупність властивостей, які визначають поведінку ґрунтової води в його товщі. Найбільш важливими водними властивостями є: *водоутримувальна здатність ґрунту, його вологомісткість, водопідйомна здатність, водопроникність*.

*Водоутримувальна* здатність – це здатність ґрунту утримувати воду, яка міститься в ньому, від стікання під дією сили тяжіння; кількісною характеристикою водоутримувальної здатності є *вологомісткість*.

*Вологомісткість* ґрунту – здатність поглинати й утримувати певну кількість води. Залежно від сил, що утримують воду в ґрунті, розрізняють

такі види вологомісткості: *максимальну адсорбційну* (МАВ), *максимальну молекулярну* (ММВ), *капілярну* (КВ), *найменшу* (НВ), *повну* (ПВ).

МАВ – найбільша кількість води, яка може бути утримана сорбційними силами на поверхні ґрунтових часток, відповідає кількості щільно зв'язаної води, що міститься в ґрунті, приблизно дорівнює МГ.

ММВ – характеризує верхню межу вмісту в ґрунті плівкової води. Залежить, в основному, від гранулометричного складу ґрунту (глина – 25-30 %, пісок – 5-7 %). Це важлива гідрологічна константа, бо є нижньою межею доступної для рослин води.

КВ – найбільша кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватись в шарі ґрунту, що знаходиться в межах капілярної кайми. Залежить від пористості ґрунтів і від висоти шару насиченого ґрунту над дзеркалом ґрунтових вод, тому КВ не є константою.

НВ – максимальна кількість капілярно-підвішеної води, яку може утримати ґрунт після стікання надлишку води при глибокому заляганні ґрунтових вод. Залежить від гранулометричного складу, структурності ґрунту (піщані – 5-10 %, супіщані – 10-20 %, суглинкові – 20-30 %, глинисті – 30-45 %). Це одна з найважливіших гідрологічних характеристик ґрунту, константа, верхня межа оптимального зволоження.

ПВ – найбільша кількість вологи, яку може вмістити ґрунт при повному заповненні всіх пор, тому ПВ приблизно дорівнює пористості ґрунту (в об'ємних процентах).

До ґрунтово-гідрологічних констант належать також МГ (описана вище); вологість в'янення (ВВ) – це вологість, за якої рослини виявляють ознаки стійкого в'янення, це нижня межа доступної для рослин вологи. ВВ приблизно дорівнює ММВ, але залежить не тільки від властивостей ґрунту, а й від типу рослин; вологість розриву капілярного зв'язку (ВРК) – це кількість води, при якій розривається суцільний потік капілярної води в ґрунті, ~ 65-70 % від НВ, відповідає нижній межі оптимальної зволоженості ґрунту. Усі ґрунтово-гідрологічні константи виражаються в % від маси або об'єму абсолютно сухого ґрунту.

*Водопроникність* – це здатність ґрунтів поглинати й пропускати через себе воду, яка надходить із поверхні.

Це одна з важливих ґрунтово-гідрологічних характеристик, що впливає на особливості формування стоку, водний режим ґрунту. Процес руху води має два етапи: поглинання (інфільтрація) та просочування (фільтрація).

*Інфільтрація* – заповнення водою вільних шпар ґрунту під впливом сорбційних, меніскових, гравітаційних сил. *Фільтрація* – безперервний рух води в насиченому ґрунті під впливом градієнта.

*Водопроникність* ґрунтів знаходиться в тісному зв'язку від їх гранулометричного складу і хімічних властивостей, структурного стану, щільності, вологості й тривалості зволоженості. Дуже знижує водопроникність ґрунтів наявність набряклих колоїдів, особливо насичених

натрієм або магнієм. При зволоженні таких ґрунтів вони швидко набрякають і робляться практично водонепроникними. Водопроникність ґрунтів вимірюється об'ємом води, який переходить крізь одиницю площі поперечного перерізу за одиницю часу (*коефіцієнтом фільтрації*).

При низькій водопроникності можуть спостерігатися такі негативні явища, як вимокання культур, застій води на поверхні ґрунту, заболочення, стік води по поверхні схилу й розвиток ерозії. При дуже високій водопроникності не створюється достатній запас води в кореневмісному шарі ґрунту, а при зрошенні спостерігаються великі втрати води, що призводить до екологічних проблем.

*Водопідіймальна* здатність ґрунту – це його властивість викликати пересування в ньому води за рахунок капілярних сил.

Висота і швидкість капілярного підняття води в основному визначаються гранулометричним і структурним станом ґрунту, його пористістю. Чим важчі ґрунти і менш структурні, тим більша потенційна висота підняття води капілярами, а швидкість підйому – менша. Капілярні сили починають проявлятися у порах діаметром 8 мм, але особливо яскраво – у порах діаметром 0,1-0,003 мм.

За доступністю для рослин ґрунтову воду можна поділити на форми:

1. *Недоступна* для рослин – це щільно зв'язана вода, так званий її мертвий запас. Недоступність пояснюється тим, що утримувальна сила поверхні ґрунтових частинок набагато більша, ніж всмоктувальна сила коренів. Мертвий запас води в ґрунтах приблизно відповідає максимальній адсорбційній вологості.

2. *Дуже важкодоступна* для рослин – в основному слабкозв'язана (плівкова) вода. Важка доступність зумовлена її низькою рухомістю. Вода не встигає підтікати до кореневих волосків. Вміст води в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, є нижньою границею продуктивної доступної вологи.

3. *Важкодоступна* вода знаходиться в межах між вологістю в'янення й вологістю розриву капілярного зв'язку.

4. *Середньодоступна* вода відповідає діапазону від вологості розриву капілярів до найменшої вологості. Ця вода рухома й рослини можуть поглинати її. Різниця між найменшою вологістю та вологістю в'янення – це діапазон фізіологічно активної води в ґрунті.

5. *Легкодоступна*, яка переходить у надлишкову воду, відповідає діапазону вологості від найменшої до повної вологості.

У гідролого-меліоративних розрахунках найчастіше виражають ґрунтову вологість у вигляді відношення наявних вологозапасів до повної водомісткості, до водоутримувальної здатності або до максимального запасу продуктивної вологи. Мають значення такі характеристики:

1. Вологість відносно повної водомісткості:



$$V = W/W_{\max} , \quad (2.14)$$

де  $W$  – вологозапас кореневого шару ґрунту, мм;

$W_{\max}$  – вологозапас насиченого ґрунту, що визначається співвідношенням:

$$W_{\max} = 0,01AH , \quad (2.15)$$

$A$  – пористість ґрунту у відсотках від його об'єму;

$H$  – глибина ґрунтового покриву або розрахункового шару ґрунту, мм.

Визначаються такі константи, які відповідають критичному стану вологозапасів:

а) відносна водоутримувальна здатність:

$$V_{63} = W_{63} / W_{\max} , \quad (2.16)$$

де  $W_{63}$  – запас води, що відповідає водоутримувальній здатності ґрунту, мм;

б) відносна вологість в'янення:

$$V_{66} = W_{66} / W_{\max} , \quad (2.17)$$

$W_{66}$  – запас води в ґрунті, що відповідає стану в'янення рослин, мм.

2. Вологість відносно водоутримувальної здатності:

$$V' = W / W_{63} . \quad (2.18)$$

Очевидно, що:

$$V = V' - V_{63} , \quad (2.19)$$

а відносна вологість в'янення:

$$V'_{66} = W_{66} / W_{63} . \quad (2.20)$$

3. Відносна продуктивна вологість:

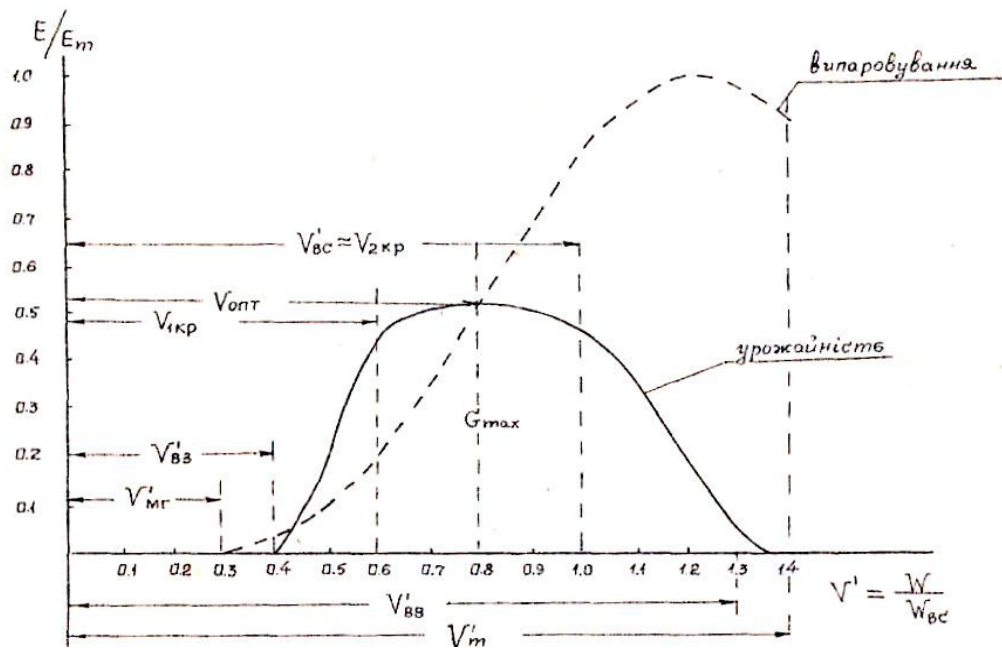
$$V' = W - W_{66} / W_{63} - W_{66} . \quad (2.21)$$

Особливе значення мають ґрунтові константи і характеристики, які описують екологічно оптимальний режим ґрунтової вологості. Численними

дослідженнями різних дослідних станцій встановлена динаміка урожайності с/г. культур залежно від ґрунтової вологості. Як показано на рис.2.3, урожайність від нульової величини при вологості в'янення дуже швидко, приблизно за лінійним законом, збільшується із збільшенням продуктивного вологозапасу ґрунту, досягаючи майже максимального значення за певної ґрунтової вологості, яка називається "першою критичною"  $V_{1кр}$ .

При подальшому збільшенні вологості, як показано на рис.2.3, урожайність збільшується дуже повільно, досягаючи максимального значення за "оптимальної вологості"  $V_{opt}, V_{opt}'$ . Потім починається повільний, іноді майже непомітний, спад урожайності. За певної високої вологості (другій критичній  $V_{2кр}$ ) урожайність починає швидко зменшуватись і стає нульовою за "вологості вимокання"  $V_{вв}$ . Таким чином, високу урожайність сільськогосподарських культур можна одержати не тільки за оптимальної вологості ґрунту, але й за такої, що коливається в досить широкому діапазоні (від  $V_{1кр}$  до  $V_{2кр}$ ). В умовах зрошення в момент, коли вологозапас у кореновому шарі падає до величини  $W_{1кр}$ , яка відповідає "першій критичній вологості"  $V_{1кр}$ , необхідний полив, який доведе зволоження до величини  $V_{2кр}$ . Коливання ґрунтової вологості взагалі неминучі, але необхідно, щоб вони здійснювались у діапазоні від  $V_{1кр}$  до  $V_{2кр}$  при середньому значенні, близькому до оптимального  $V_{opt}$ . Визначення  $V_{1кр}$ ,  $V_{2кр}$  та  $V_{opt}$  є одним із основних завдань екологічного обґрунтування меліорацій.

З найбільшою точністю можна визначити величину максимально припустимої вологості  $V_{2кр}$  і відповідний вологозапас коренового шару  $W_{2кр}$ . Необхідно, щоб  $W_{2кр}$  дорівнювало водоутримувальній здатності коренового шару  $W_{вз}$ . Дійсно, якщо при поливі буде подано води більше, ніж може утримати ґрунт, надлишок піде у підґрунт, що неприпустимо в екологічному відношенні. Якщо ж водоподавання буде меншим за водоутримувальну здатність коренового шару, то глибина промочування виявиться недостатньою – нижній ярус коренів рослин не одержить вологи, що зменшить урожай.



**Рис. 2.3 Залежність випаровування  $E$  та урожайності  $G$  від ґрунтової вологості  $V'$**

Важче правильно призначити мінімальну припустиму вологість  $V_{1кр}$ . В деяких методиках розрахунку її ототожнюють із вологістю в'янення. Але вона не може бути низькою, тому що середня вологість міжполивного періоду в цьому випадку виявилась би суттєво меншою від оптимальної, а урожайність – зниженою; доводити культури до стану зів'янення, або близького до нього, явно нераціонально. Теоретично більш обґрунтований інший спосіб – проведення поливів у момент, коли утворюється вологість розриву капілярів, тобто  $V_{1кр} = V_{рк}$ . Дійсно, при розриві капілярів частина кореневих волосків втрачає приплив води, що знижує урожай. Проте практично визначити  $V_{рк}$  непросто, і взагалі, розрив капілярів – процес, розтягнутий у часі. Найбільш придатний спосіб визначення  $V_{1кр}$  той, що потребує створення середньої вологості міжполивного періоду, яка дорівнює оптимальній. Враховуючи обриси кривої урожайності (рис.2.3) цю вимогу можна виразити рівністю:

$$V_{2кр} - V_{онт} = V_{онт} - V_{1кр} \quad (2.22)$$

Звідки:

$$V_{1кр} = 2V_{онт} - V_{вз} \quad (2.23)$$

Оптимальна вологість змінюється залежно від виду сільськогосподарської культури та характеру ґрунту. Краще за все визначати її у відсотках від водоутримувальної здатності. В зрошуваній зоні України на південних чорноземах, згідно з дослідженнями,  $V_{opt}$  складає для люцерни в середньому 75 % водоутримувальної здатності  $V_{вз}$ . Для овочевих культур вона дещо вища, досягаючи 80 %  $V_{вз}$ , на зернових – від 70 до 75 %.

## 2.4 Залежність ґрунтового випаровування від вологості ґрунту

Процес випаровування в природі відбувається всюди, де є хоча б деяка кількість вологи й тепла. Під *випаровуванням* розуміють перехід окремих молекул, швидкість яких виявляється достатньою для подолання сил молекулярного притягання, з поверхні рідини або твердого тіла в навколишній простір. З підвищенням температури кількість молекул, що відірвалися від поверхні, що випаровує, і надходять у навколишній простір, збільшується.

Перед розглядом процесів трансформації водного балансу та їх екологічної оцінки розглянемо динаміку випаровування й урожайності сільськогосподарських культур, зумовлену зміною ґрунтової вологості.

На рис. 2.3 показані типові криві зміни водоспоживання (випаровування) й урожайності сільськогосподарських культур залежно від ґрунтової вологості  $V'$ , вираженої відносно водоутримувальної здатності ґрунту. За кривими, складеними за даними деяких дослідно-меліоративних станцій, можна визначити, що випаровування виникає за вологості, яка дорівнює максимальній гігроскопічності  $V'_{mg}$ . В інтервалі від  $V'_{mg}$  до вологості в'янення  $V'_{ev}$ , загальне випаровування дуже невелике, тому що воно відбувається тільки шляхом віддачі води у ґрунтові пори і дифузії по цих порах в атмосферу, а транспірація відсутня. При вологості, що перевищує вологість в'янення, уже починається транспірація і за її рахунок сумарне випаровування зі збільшенням вологості швидко зростає. Паралельно і більш інтенсивно підвищується врожайність. Остання уповільнює своє підвищення за вологості, близької до стану розриву капілярів, і проходить через нечітко виражений максимум при  $V' = V_{opt}$ , на тлі крутого підйому випаровування, що продовжується. Випаровування продовжує інтенсивно зростати і при вологості, яка перевищує оптимальну. Збільшення випаровування уповільнюється тільки при вологості, яка перевищує водоутримувальну здатність ґрунту, коли урожайність уже починає швидко скорочуватись. Останнє пояснюється нагромадженням води в гравітаційних порах, що зменшує аерацію ґрунту, пригнічуючи діяльність корневих систем. Випаровування ж і при вологості, більшій за  $V'_{вз}$ , в деякому діапазоні вологості ще збільшується за рахунок посилення віддачі вологи з поверхні

перезволоженого ґрунту безпосередньо в атмосферу. Максимум випаровування спостерігається в інтервалі вологості від  $V'_{\text{вз}}$ , до повної водомісткості  $V'_{\text{max}}$ .

Слід зазначити, що в діапазоні вологості від  $V_{1\text{кр}}$  до  $V_{2\text{кр}}$ , в якому спостерігається максимальна урожайність, випаровування збільшується дуже значно, інколи більш ніж удвічі. Це пояснюється пристосованістю рослин до коливань ґрунтової вологості. При її скороченні водоспоживання, природно, зменшується. Але це до деякої міри (до певного порогу вологості) компенсується збільшенням концентрації ґрунтового розчину, що підтримує мінеральне живлення рослин, зберігаючи високу урожайність і при зменшеній вологості. Ось чому в районах, недостатньо забезпечених водними ресурсами, можна припустити середній рівень зволоження, менший від оптимального.

## 2.5 Методи визначення ґрунтового випаровування

*Випаровування* є основною складовою витратної частини водного балансу. Тому спостереження за випаровуванням проводять із метою вивчення водного балансу сільськогосподарських полів, природних угідь і водозборів.

Велика працемісткість вимірювання випаровуваності і необхідність вивчення мінливості водоспоживання в часі і за площею зумовили створення розрахункових методів для визначення водоспоживання.

Усі методи визначення сумарного випаровування можна розподілити на методи безпосереднього спостереження, за аналогами в умовах, близьких до проєктованих, і на розрахункові методи, основані на встановленні зв'язку водоспоживання з різними кліматичними умовами.

Важлива роль у вивченні випаровування й створенні методів його розрахунку належить випарникам, тобто приладам, що надають можливість вимірювати випаровування з поверхні суші й води.

*Метод випарників* ґрунтується на використанні посудин, у які вміщують ґрунтові моноліти, і дозволяє вивчити залежність випаровування від заданого режиму зрошення сільськогосподарських культур.

*Випарники* – це циліндри з водонепроникним дном і стінками. Глибина їх 1-1.5 м, що відповідає глибині кореневого шару ґрунту. Площа поперечного перерізу випарників коливається від 500-1000 см<sup>2</sup> для зернових до 2000-3000 см<sup>2</sup> – для просапних культур. Випарники застосовують на зрошуваних масивах із глибоким заляганням ґрунтових вод ( $H > 5$  м), щоб уникнути вертикального вологообміну у ґрунті. Випаровування визначають за зміною маси ґрунтового моноліту випарника із сільськогосподарською культурою, що виростає в ньому, за визначені періоди часу. Для зважування ґрунтового моноліту застосовують найпростіші піднімальні пристрої.

Характерною рисою багатьох зрошуваних і осушуваних земель є неглибоке (1-3 м) залягання рівня ґрунтових вод. Ці води відіграють помітну роль у формуванні водного балансу зазначених територій і впливають на величину окремих елементів балансу, у тому числі й на випаровування. У цьому випадку для виміру випаровування доцільно застосовувати не випарники, а лізіметри.

Принцип роботи *лізіметра* такий же, як і у випарника, однак від останнього він відрізняється тим, що в моноліті лізіметра штучно створюється й підтримується на заданій глибині рівень ґрунтових вод. Крім випаровування з поверхні суші, за допомогою лізіметра можна вимірювати витрату ґрунтових вод у зоні аерації, у тому числі й підживлення кореневмісного шару й інфільтраційне живлення ґрунтових вод.

Лізіметр - непроникний бак круглого чи прямокутного перерізу (зовнішня посудина), у який вміщають внутрішню посудину з досліджуванним шаром ґрунту глибиною 1-2,5 м. Площа лізіметра залежить від досліджуваної сільськогосподарської культури і перебуває в межах 1000-10 000 см<sup>2</sup>.

Витрату поливної води з лізіметра визначають за зміною вологості ґрунту в часі шляхом відбору проб ґрунту чи зважуванням. У лізіметрах на відміну від випарників автоматично підтримується задана глибина ґрунтових вод за рахунок створення шару води в зовнішній посудині.

Таким чином, при неглибокому заляганні рівня ґрунтових вод водоспоживання рослин рекомендується визначати методом лізіметрів, а при глибокому заляганні – методом випарників, але з одночасним періодичним контролем результатів методами водного і теплового балансів [1, 2,4].

*Метод теплового балансу (МТБ)* ґрунтується на використанні рівняння теплового балансу поверхні землі з урахуванням тепло- і водообміну в приземному шарі повітря. Складові теплового балансу вивчаються на спеціальних теплобалансових станціях.

*Розрахункові методи* базуються на встановленні кореляційних залежностей між випаровуванням і одним або декількома метеорологічними показниками.

*1) Розрахунок середнього багаторічного випаровування за температурою і вологістю повітря (метод О.Р. Константинова)*

Розрахунок ведеться за допомогою номограми за середніми багаторічними показниками температури повітря й середніми багаторічними значеннями вологості повітря.

Цей метод дає кращі результати для районів надмірного й достатнього зволоження, де процес випаровування з поверхні суші визначається надходженням тепла, а ресурси ґрунтової вологи практично необмежені.

*2) Розрахунок середнього багаторічного випаровування за рівнянням М.І. Будико*

$$E_0 = \sqrt{\frac{R_0 \cdot x_0}{4}} \left( 1 - e_0 \frac{R_0}{XL} \right) \lg \frac{XL}{R_0}, \quad (2.24)$$

де  $x_0$  – норма опадів, мм/рік;

$R_0$  – радіаційний баланс зволоженої поверхні, кДж/см<sup>2</sup>;

$L$  – питома теплота пароутворення, кДж/см<sup>3</sup>.

3) Використовується формула М.М.Іванова для визначення випаровуваності:

$$E_o = 0.0018(25 + t^2)(100 - a), \quad (2.25)$$

де  $E_o$  – випаровуваність за місяць, мм;

$t$  – середньомісячна температура повітря, °С;

$a$  – середньомісячна відносна вологість повітря, %.

4) О.М. Костяков уперше запропонував формулу для визначення водоспоживання, яка набула значного поширення в нашій країні і за кордоном:

$$E = KU, \quad (2.26)$$

де  $E$  – водоспоживання, м<sup>3</sup>/га;

$K$  – коефіцієнт водоспоживання культури (витрата води на одиницю врожаю, м<sup>3</sup>/ц чи м<sup>3</sup>/т) визначається дослідним шляхом з урахуванням кліматичних умов району, властивостей ґрунтів, рівня агротехніки і біологічних особливостей культури;

$U$  – розрахунковий врожай сільськогосподарської культури, ц/га чи т/га.

Недоліком цього методу є те, що не можна визначати водоспоживання культури за окремі проміжки часу, а також відсутній зв'язок сумарного випаровування з кліматичними факторами конкретного року.

5) Основний метод, що використовується в даний час – це *біокліматичний метод С.М. Алпатьєва*. Перевага цього методу – простота і доступність розрахунків. Метод ґрунтується на залежності сумарного випаровування вологи від дефіциту вологості повітря й особливостей рослини, які характеризуються коефіцієнтом біологічної кривої рослини. Біологічна крива являє собою залежність випаровування вологи з ґрунту (мм), яка витрачається на покриття дефіциту вологості повітря в 1 мілібар, від температури повітря. Такі криві встановлені для окремого виду культур і різних термінів вегетації, виражених сумою температур від моменту сходів з урахуванням виправлень на довжину світлового дня.

Розрахунок сумарного випаровування за біокліматичним методом ведеться за залежністю:

$$E = k_{\phi} \sum d, \quad (2.27)$$

де  $E$  – сумарне випаровування за розрахунковий період, мм;

$k_{\phi}$  – значення коефіцієнта біологічної кривої за даний період, мм/мб;

$\sum d$  – сума дефіцитів вологості повітря за даний період, мб [1,3, 4, 5].

### 2.5.1 Розрахункова формула випаровування зі зрошуваних земель України

Формула випаровування зі зрошуваних земель А.М. Бефані обчислена для низки пунктів Одеської і Херсонської областей України [3]. Досліджувались поля, зайняті посівами (люцерни, зернових). Для них формула максимального випаровування отримана у вигляді:

$$E_m = ad^{2/3}, \quad (2.28)$$

де  $d$  – показник дефіциту насичення, єдиний для всіх культур і для всієї території, дорівнює  $2/3$ , незалежно від календарного часу;

$a$  – параметр випаровування, навпаки, має виражений внутрішньорічний хід і залежить від сільськогосподарського використання.

Значення  $a$  для посіву люцерни наведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 Значення параметра випаровування  $a$  для посіву люцерни ( $E$  - мм/д при  $d$  , мб)

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$a$	0,9	0,9	1,0	1,15	16,7	1,99	1,99	1,85	1,57	1,0	0,9	0,9

Як бачимо, параметр  $a$  , а отже, й величина випаровування на одиницю дефіциту  $d$  , змінюється протягом року досить значно (на люцерні більш ніж удвічі). Це пов'язано, головним чином, зі зміною тривалості дня й сонячної радіації, а також із динамікою термічної й вітрової конвекції.

Для функції зволоження  $\square$  використовується проста лінійна модель:

$$\square = 0,5 \square (0,01 V' + 0,5), \quad (2.29)$$



де  $V'$  – продуктивна вологість в % від максимальної продуктивної вологості, яку здатний утримати ґрунт (випаровування є функцією саме продуктивної вологості тому, що за відсутності останньої транспірація рослин стає нульовою);

– коефіцієнт, що враховує внутрішньо сезонні зміни водовіддачі ґрунту, пов'язані з розвитком рослинного покриву.

Значення коефіцієнта для люцерни наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 Значення коефіцієнта для люцерни протягом року

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0,84	0,84	0,84	0,92	0,92	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,84	0,84

На люцерновому полі існують два періоди, які відрізняються за інтенсивністю віддачі води на випаровування при однаковій ґрунтовій вологості – літнє випаровування помітно вище за зимове. Це, очевидно, пов'язано з розвитком рослинного покриву в літні місяці. При цьому коефіцієнт постійний не тільки у зимові місяці (коли рослинності немає), а й у літні. Останнє пояснюється господарським використанням люцернових полів, які протягом літа й осені неодноразово викошуються. На зернових культурах величина більш мінлива, відповідно до фаз розвитку рослин.

Мала амплітуда змін на люцерновому полі (від зими до літа – усього на 20 %) є наслідком повного затінення ґрунту густим рослинним покривом, внаслідок чого витрата води в літні місяці зумовлена тільки транспірацією, у той час як при відсутності рослинного покриву або навесні, при слабкому його розвитку, витрата води стримується через ґрунтові капіляри (безпосередньо ґрунтове випаровування). Визначивши функцію зволоження за оптимальним значенням продуктивної вологості, одержимо формулу оптимального випаровування люцернового поля в умовах зрошуваної зони України:

$$E_{onm} = 0,45 \square a d^{2/3} = \square d \quad (2.30)$$

Значення  $\square = 0,45 \square a$  наведені в табл. 2.3

Таблиця 2.3 Місячні значення  $\square = 0,45 \square a$  для посіву люцерни в зрошуваній зоні України.

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\square$	0,34	0,34	0,38	0,48	0,70	0,90	0,90	0,83	0,71	0,45	0,34	0,34

## 2.6 Моделі інфільтрації в ґрунт на природних і меліорованих схилах

Інфільтрація води в ґрунт визначає поверхневий схиловий стік і просочування в ґрунтові води, будучи одним із найважливіших факторів водного балансу й процесів його трансформації.

*Просочування* – це проникнення води в ґрунт і рух її до рівня підземних вод.

Просочування води в ґрунт є одним із найважливіших факторів формування режиму вод суші. значною мірою визначає обводнювання ґрунту, інтенсивність поверхневого стоку й збільшення запасів ґрунтових вод.

Кількісними характеристиками просочування є:

1. *Швидкість (інтенсивність) просочування* («коефіцієнт інфільтрації», або «швидкість інфільтрації») – кількість води в міліметрах шару, що просочилася крізь одиницю площі ґрунту в одиницю часу (зазвичай за хвилину).

2. *Швидкість промочування або швидкість просування межі промочування.*

Просочування води в ґрунт може здійснюватися як у формі *крапельно-струминного (турбулентного) руху* води тріщинами, ходами і порами значних розмірів, так і у вигляді *капілярного (ламінарного) руху* каналами й порами невеликого перетину, коли виявляється дія капілярних сил.

У природних ґрунтах, що мають здебільшого пори різних розмірів, співвідношення між *крапельно-струминною* і *капілярною* формами руху води може змінюватися в досить широких межах. У деяких випадках, наприклад в умовах добре проникних лісових ґрунтів і при високому стоянні ґрунтових вод, переміщення води у вигляді *крапельно-струминного* руху може виявитися головною формою переміщення води, що надходить на поверхню ґрунту, до рівня ґрунтових вод.

Теоретичні й експериментальні дослідження механізму проникнення води в ґрунт стосуються, головним чином, до випадку *капілярного просочування*. При цьому початкова стадія просочування, коли сили тертя й сили опору ґрунтового повітря, що витісняється з пор при просочуванні, малі, а капілярні сили мають переважне значення, називається *усмоктуванням (поглинанням, інфільтрацією)*.

Зі збільшенням товщини шару ґрунту з порами, заповненими водою, дія капілярних сил загасає й подальше просування води відбувається під переважною дією сили ваги зі швидкістю, що відповідає коефіцієнту фільтрації даного ґрунту. Ця стадія просочування називається *фільтрацією*.

Швидкість просочування води в стадії фільтрації не однакова для різних ґрунтів; вона є для них особливою константою, називаною *швидкістю*, або *коефіцієнтом фільтрації*. За даними дослідів, найбільші й найменші значення цієї швидкості для різних ґрунтів становлять: піски – 3,00-34, супіски – 1,50-3,00, суглинки – 0,66-1,50, глини – 0,06-0,70, мм/хв..

Зменшення капілярних сил зі збільшенням зволоженості ґрунту пояснюється тим, що при збільшенні зволоження ґрунту більша частина пор заповнюється водою, тому менша кількість пор має поверхні розділу вода – повітря, на яких виникають при всмоктуванні капілярні сили.

У природних умовах на процес поглинання води ґрунтом істотно впливають місцеві особливості поверхні ґрунту й характеру надходження води на ґрунт. Серед них найбільший вплив на поглинання води ґрунтом мають: а) рельєф, в) фізико-механічні, фізико-хімічні властивості й стан обробітку ґрунту, в) рослинний покрив, г) опади.

Вплив *рельєфу* позначається на швидкості стікання води схилами і, отже, тим самим на тривалості контакту води із ґрунтом. Це, у свою чергу, створює різні умови для поглинання води ґрунтом: при плоскому рельєфі й, отже, малих швидкостях стікання можливості поглинання води ґрунтом збільшуються, при більших швидкостях – зменшуються. З іншого боку, вплив рельєфу виявляється в поверхневій затримці води в численних дрібних зниженнях, що призводить до посилення вбирання води в ґрунт.

Залежно від *фізико-механічних*, фізико-хімічних властивостей, стану *ґрунту* і його вологості інтенсивність поглинання води може коливатися в широких межах. З фізико-механічних властивостей ґрунту найбільш важливим є механічний склад, чим більші розміри часток, тим менша щільність і більша пористість, більша водовбирна здатність ґрунту.

З фізико-хімічних властивостей ґрунтів найбільше значення має *колоїдний склад*. У верхньому шарі ґрунту, де розвинені коренева система й відбуваються бактеріологічні процеси, частки ґрунту склеєні між собою речовинами органічного походження (колоїди), які заповнюють частину пор. Ґрунтові колоїди при поглинанні води набухають, збільшуючись в об'ємі в декілька разів, і зменшують інтенсивність усмоктування.

*Рослинний покрив* сприяє збільшенню поглинальної здатності ґрунту внаслідок розпушення ґрунтів кореневою системою й утворення лісової підстилки.

Визначення поглинальної здатності ґрунту залежно від зміни інтенсивності всмоктування в часі можна здійснити за допомогою так званих *кривих інфільтрації* (кривих просочування, або кривих поглинання чи вбирання).

Хоча обчислення поглинання води, яка надійшла на водозбір, з використанням кривої зміни інфільтрації в часі є принципово більш правильним, практично це завдання найчастіше виконується за допомогою *коефіцієнта стоку*.

Під *коефіцієнтом стоку* розуміють відношення максимального добового шару стоку до максимальної добової суми опадів за паводок.

Найбільші коефіцієнти дощового стоку залежать не стільки від характеру ґрунтів, стільки від умов зволоженості території в цілому й попереднього зволоження паводком, а також від тривалості й інтенсивності дощів і характеру рослинного покриву.

Антропогенні дії, в силу своєї неоднорідності в просторі, звичайно помітно підвищують мінливість поглинальної здатності по площі схилів, що спостерігається й у природних умовах. Це примушує використовувати в розрахунках усмоктування дощових вод математичну модель інфільтрації типу[3]:

$$k_{tf} = \bar{k}_t k_f = \left( k_0 + \bar{A}/t^n \right) k_f, \quad (2.31)$$

де  $k_{tf}$  – інтенсивність інфільтрації в момент  $t$ , яка перевищується на відносній площі  $f$ ;

$\bar{k}_t$  – середня за площею інтенсивність інфільтрації в момент  $t$  від розрахункового початку процесу;

$k_f$  – модульний коефіцієнт, забезпечений на відносній площі  $f$ ;

$k_0, A, n$  – інфільтраційні параметри, усереднені за площею.

Показник вбирання  $n$  є квазіконстантою, для більшості ґрунтів степової й лісостепової зон України він дорівнює  $\frac{3}{4}$  [3]. Досить повільно змінюється географічно й параметр  $k_0$  (стале вбирання), для південних чорноземів він приймається 0,06 мм/хв. Параметр вбирання  $A$  порівняно більш мінливий і залежить від зволоження ґрунту. Для природних умов  $A$  виражається залежно від індексу зволоження  $I_W$ , який враховує попередні температури, опади й завчасність їх випадіння. Для визначення параметра  $A$  запропоновано багато емпіричних залежностей. З них на перевагу заслуговує формула типу

$$A = A_0 e^{-\epsilon_1 I_W}, \quad (2.32)$$

де  $A_0, \epsilon_1$  – числові параметри, залежні від ґрунтової різниці й рослинності.

Так для південних чорноземів і незалісненої поверхні визначені  $A_0 = 8,21$  і  $\epsilon_1 = 0,03$ . На зрошуваних землях названі параметри змінюються: у зв'язку із промиванням ґрунту, деяким погіршенням структури, поверхневою ерозією інфільтраційна здатність ґрунту може зменшитися. Крім того й методика

розрахунку інфільтрації в умовах зрошення потребує особливого підходу, тому що параметр  $A$  не можна визначити у функції від індексу природного зволоження. Вихідною характеристикою, що визначає вбирання, може бути тільки ґрунтова вологість, оскільки вона на зрошуваних землях створюється штучно.

Можливі *три способи конкретизації інфільтраційної моделі* відповідно до умов зрошення:

1. Обчислення інфільтрації за формулами залежно від ґрунтової вологості.

2. Використання наявних формул, виражених залежно від індексу зволоження, визначеного за сукупністю не тільки попередніх природних дощів, але й поливних вод.

3. Установлення емпіричних залежностей індексу зволоження без ґрунтової вологості  $V$ , що дозволяє замінити в розрахункових формулах інфільтрації  $I_W$  на  $V$ .

На перевагу заслуговує перший спосіб, оскільки тільки він ураховує деякі зміни якостей ґрунтового покриву внаслідок тривалого зрошення. Для південних і малогумусних чорноземів України й Молдови І.М. Лаликін отримав формулу, що дозволяє визначити ґрунтову вологість з індексом зволоження[3]:

$$V - V_{мг} / V_{вз} = 1,2 \left( 1 - e^{-1,5 I_W - I_{Wонм} / V_{вз}} \right), \quad (2.33)$$

де  $V$ ,  $V_{мг}$ ,  $V_{вз}$  – показники ґрунтової вологості, які розглядалися на стор.25,26. Тут вологість виражена у відсотках від вологомісткості ґрунту.

### 2.6.1 Інфільтрація на зрошуваних землях України

Докладні дослідження вбирання води методами дощування і заливу інфільтрометрів на зрошуваних землях Півдня України проведені кафедрою гідрології ОГМІ для двох пунктів смт Маяки та с. Санжейка [3].

Однак ґрунтовий покрив у зрошуваній зоні України, представлений головним чином суглинними південними чорноземами й малогумусними чорноземами, досить однорідний. Порівняльна усталеність інфільтрації на зрошуваних землях зумовлена також малою варіацією ґрунтової вологості, яка близька до оптимальної й змінюється від передполивної  $V_{1кр}$  (що перевищує вологість розриву капілярів) до післяполивної  $V_{2кр}$ , яка дорівнює водоутримувальній здатності ґрунту. Це дозволяє використовувати формули і

параметри інфільтрації, отримані лише в двох географічних точках, також для інших зрошуваних масивів.

$$k_0 = 0,06 + A/t^{3/4}. \quad (2.34)$$

У свою чергу:

$$A = 8,2e^{-6,4(V'-V'_{\text{вз}})}, \quad (2.35)$$

де  $V'$  – вологість ґрунту, представлена відношенням вологості в кореновому шарі ґрунту  $H \approx 70$  см до водного запасу, який відповідає водоутримувальній здатності ґрунту  $W_{\text{вз}}$ ;

$V'_{\text{вз}}$  – вологість в'янення відносно водоутримувальної здатності ґрунту  $W_{\text{вз}}$ .

Знання інтенсивності інфільтрації на меліорованих землях необхідне для вирішення декількох завдань.

1. Для воднобалансового розрахунку норми зрошення й критичного рівня ґрунтових вод  $H_{\text{кр}}$ , що потребує визначення оптимізованого стоку від природних дощів, які випадають між поливами, і відповідного шару просочування. Воднобалансовий розрахунок повинен виконуватися за вологістю, середньою за міжполивний період, тобто оптимальною.

2. Для встановлення тривалості поливу, тобто часу, протягом якого усмоктується в ґрунт поливна норма  $m$ . Цей розрахунок виконується по передполивній вологості.

3. Для розрахунку максимального зливогого стоку зі зрошуваної території, тобто для гідрологічного розрахунку гідроспоруд. Цей розрахунок повинен виконуватися за вологістю, яка відповідає максимальній водоутримувальній здатності ґрунту й швидко встановлюється після поливу. Ця вологість близька до неї, зберігається протягом деякого часу й тому існує висока ймовірність випадання дощу розрахункової забезпеченості на ґрунт, насичений до водоутримувальної здатності.

Параметри інфільтрації на зрошуваних землях необхідно конкретизувати для кожного із зазначених завдань гідрологічного розрахунку.

Для розрахунку складових балансу, які визначають зрошувальні норми, і  $H_{\text{кр}}$  шляхом узагальнення даних, отримані значення  $k_0 = 0,05$  мм/хв і  $A = 5,0$ . Для розрахунку зливогого стоку потрібної забезпеченості береться  $k_0 = 0,06$  мм/хв і  $A = 2,82$ . Зрештою, для розрахунку тривалості й граничної інтенсивності дощування  $A = 6,0$  при тому ж значенні  $k_0$ . Слід зауважити,

що при кліматичній нормі ґрунтової вологості отримані значення  $k_0 = 0,06$  мм/хв і  $A = 7.0$ .

### Запитання для самоконтролю

- Що являє собою коефіцієнт природного зволоження?
- Як забезпечена територія України кількістю опадів?
- Яке співвідношення між сумою опадів за вегетаційний період і випаровуванням із водної поверхні в різних кліматичних зонах України?
- Як оцінюються запаси продуктивної вологи у ґрунті?
- Назвіть форми води у ґрунтах. Яка їх доступність рослинам?
- Назвіть водні властивості ґрунту. Який їх зв'язок із механічним складом ґрунту?
- Схарактеризуйте водні властивості ґрунту. Який їх зв'язок із фізичними властивостями ґрунту?
- Схарактеризуйте терміни «загальна, найменша, гранична польова й польова вологомісткість».
- Схарактеризуйте водоутримувальну здатність різних типів ґрунтів? Від яких властивостей ґрунту вона залежить?
- Схарактеризуйте терміни «критичний рівень залягання ґрунтових вод»; «зона аерації». Який між ними зв'язок?
- Які властивості ґрунтів впливають на величину й характер водопроникності?
- Від яких параметрів залежить випаровуваність із поверхні водних басейнів?
- Від яких природних умов залежить величина випаровування з поверхні ґрунтів?
- Назвіть методи визначення випаровування з ґрунтів.
- Які фактори впливають на величину водоспоживання рослин?
- Назвіть кількісні характеристики просочування.
- Для чого необхідне знання інтенсивності інфільтрації на меліорованих землях?

### 3. ВОДНИЙ БАЛАНС МЕЛІОРОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

#### 3.1 Рівняння оптимізованого водного балансу (водоспоживання). Дефіцити і надлишки зволоження

Рівняння оптимізованого водного балансу виражає співвідношення між припливом вологи в даному пункті земної поверхні, тобто опадами, та її витратою на стік і випаровування за оптимальних умов зволоження. Таке співвідношення виявляє надлишок або нестачу опадів порівняно з оптимально необхідною величиною, здатною зумовити найвищу ефективність сільського господарства.

За наявності нестачі вологи, зокрема – в умовах зрошуваної зони, при  $V_{кл} < V_{онм}$  рівняння оптимізованого балансу має вигляд:

$$x_0 - E_{онм} - Y_{0онм} + D = 0, \quad (3.1)$$

де  $x_0$  – норма річних опадів,

$E_{онм}$  – норма випаровування за оптимальної ґрунтової вологості (оптимальне випаровування),

$Y_{0онм}$  – сумарний стік за оптимальної ґрунтової вологості;

$D$  – дефіцит зволоження (кількість вологи, якої не вистачає для створення оптимальних умов розвитку сільськогосподарських культур).

При надлишку вологи (зона осушення,  $V_{кл} > V_{онм}$ ) рівняння оптимізованого балансу набуває вигляду:

$$x_0 - E_{онм} - Y_{0онм} - U = 0, \quad (3.2)$$

де  $U$  – надлишок зволоження.

Із рівняння оптимізованого балансу можна визначити дефіцит або надлишок вологи не тільки за рік, а й щомісяця. Останнє виявляє річний хід зволоження, дозволяючи визначити напрямок меліорації (осушення, зрошення або ж двостороння меліорація при зміні періодів дефіциту та надлишку вологи), а також основні розрахункові нормативи.

#### 3.2 Зрошувальна норма водоспоживання (норма нетто), оптимальна в екологічному відношенні, та способи її визначення

*Зрошувальна норма* або дефіцит водоспоживання – це кількість води ( $m^3$ ), яку необхідно подати на 1 гектар зрошуваного поля протягом вегетаційного періоду для відновлення дефіциту вологи в розрахунковому



шарі ґрунту і забезпечення проектного врожаю культури в умовах розрахункового року.

Зрошувальні норми можна визначати дослідним шляхом, за коефіцієнтом водоспоживання, з використанням залежності водоспоживання від метеорологічних величин, на основі рівняння водного балансу.

На практиці найчастіше здійснюють розрахунки зрошувальної норми за рівнянням водного балансу:

$$M = E - \square P \pm \Delta W - W_{gp} + W_{вт}, \quad (3.3)$$

де  $M$  – зрошувальна норма, м<sup>3</sup>/га;

$E$  – водоспоживання, м<sup>3</sup>/га;

$\square P$  – опади, які поглинаються ґрунтом, м<sup>3</sup>/га,

$\square$  – коефіцієнт використання опадів (для структурних ґрунтів – 0,7-0,8, для безструктурних – 0,4-0,7);

$\Delta W$  – кількість води, використовувана рослинами з кореневого шару ґрунту, м<sup>3</sup>/га, визначається за рівнянням:

$$\Delta W = W_n - W_k, \quad (3.4)$$

$W_n$  – запаси вологи в ґрунті на початок вегетаційного періоду, м<sup>3</sup>/га;

$W_k$  – запаси вологи в ґрунті на кінець вегетаційного періоду, м<sup>3</sup>/га;

$W_{gp}$  – об'єм ґрунтових вод на підживлення кореневого шару ґрунту, м<sup>3</sup>/га.

Цей об'єм можна врахувати коефіцієнтом підживлення ( $K_n$ ), який залежить від залягання рівня ґрунтових вод, виду і фази розвитку культури, механічного складу ґрунтів;

$W_{вт}$  – втрати зрошувальної води на поверхневе і глибинне скидання, м<sup>3</sup>/га.

Зрошувальною нормою нетто називається кількість води, яку протягом року повинні подати в ґрунт для підвищення його вологозапасу до величини, оптимальної в екологічному відношенні, тобто такої, яка забезпечить найвищу врожайність.

Технічно подавання води на поля із джерел зрошення (річка, озеро, водосховище) здійснюється системою каналів і труб, постійних або пересувних. У процесі транспортування води на поля неминучі її втрати. Тому забір води із джерела зрошення (так звана норма брутто) повинен перевищувати норму водоспоживання сільськогосподарських культур – норму нетто.

Таким чином, необхідно розрізняти зрошувальну норму нетто  $M_{\text{нетто}}$ , норму водоподавання на поле і зрошувальну норму брутто  $M_{\text{брутто}}$ , тобто норму водозабору в зрошувальну систему.

Зрошувальна норма нетто, яка є нормою оптимального водоспоживання, очевидно, повинна відповідати дефіциту вологи за розрахунковий гідрологічний рік. Таким чином, виходячи з рівняння оптимізованого балансу (3.1), можна записати:

$$M_{\text{нетто}} = E_{\text{опт}} + Y_{\text{опт}} - x, \quad (3.5)$$

де  $x$  – опади за розрахунковий рік, мм;

$E_{\text{опт}}$  – оптимальне випаровування за розрахунковий рік, мм;

$Y_{\text{опт}}$  – стік при оптимальній вологості за розрахунковий рік, мм.

Тривалий досвід проектування меліорацій і техніко-економічні розрахунки обґрунтували доцільність визначення проектної зрошувальної норми відповідно до умов середньосухого року. Цей підхід потребує вибору такого поєднання опадів, стоку і кліматичних факторів випаровування (температури і вологості повітря), які формують зволоження 75 відсоткової або його дефіцит  $D$  25 відсоткової забезпеченості. Оскільки в посушливі роки звичайно спостерігаються високі температури, випаровування, низькі опади та стік, у практиці проектування довгий час визначали дефіцит зволоження (зрошувальну норму) за різницею випаровування 25%-ої забезпеченості і опадами 75%-ої забезпеченості, а також за відповідним стоком. Однак такий підхід дає перевищені норми, тому що реальні поєднання опадів і термічних умов досить різноманітні, сильні опади не завжди поєднуються зі слабким випаровуванням і навпаки. У степовій смузі України часто найбільш сильні зливи випадають на фоні високих температур.

Точніше буде визначати дефіцит зволоження за кожен календарний рік з подальшою статистичною обробкою отриманого багаторічного ряду

$$D = E_{\text{опт}} + Y_{\text{опт}} - x \quad (3.6)$$

Однак застосування цього методу часто обмежене нестачею інформації. Зазначимо також, що обчислений таким способом дефіцит водоспоживання 75-відсоткової забезпеченості є статистичною характеристикою, яка не належить до будь-якого конкретного року. Дефіцит розрахункової забезпеченості може сформуватися при найрізноманітнішому поєднанні опадів, температур і вологості повітря. Тому при встановленні режиму зрошення у розрахунковому році доводиться виходити з певного усередненого за групою сухих років внутрішньорічного ходу накопичення дефіциту водоспоживання.

З урахуванням сказаного заслуговує на увагу спрощений спосіб визначення зрошувальної норми розрахункової забезпеченості [3]. Формується багаторічний ранжований ряд річних опадів як головної характеристики природного зволоження. Потім відбираються декілька років (звичайно два, іноді – три), які мають емпіричну забезпеченість опадів, близьку до розрахункової (75%). Для цих конкретних років розраховуються річні дефіцити водоспоживання, усереднення яких дає зрошувальну норму потрібної забезпеченості. Так само для цих конкретних років усереднюється й внутрішньорічний хід дефіциту водоспоживання.

Для визначення середньої багаторічної зрошувальної норми  $\overline{M}_t^{V_{\text{опт}}=1}$  за відсутності даних спостережень отримана формула для Одеської області:

$$M_t^{V_{\text{онм}}=1} = (AV_{\text{онм}} + B)M_{V-VIII}^{V_{\text{онм}}=1} - C(1-V_{\text{онм}}) + D, \quad (3.7)$$

де  $V_{\text{опт}} = 1$  для періоду вегетації травень-серпень, мм (рис.3.1); А, В, С і D – параметри зв'язку, наведені в таблиці 3.1

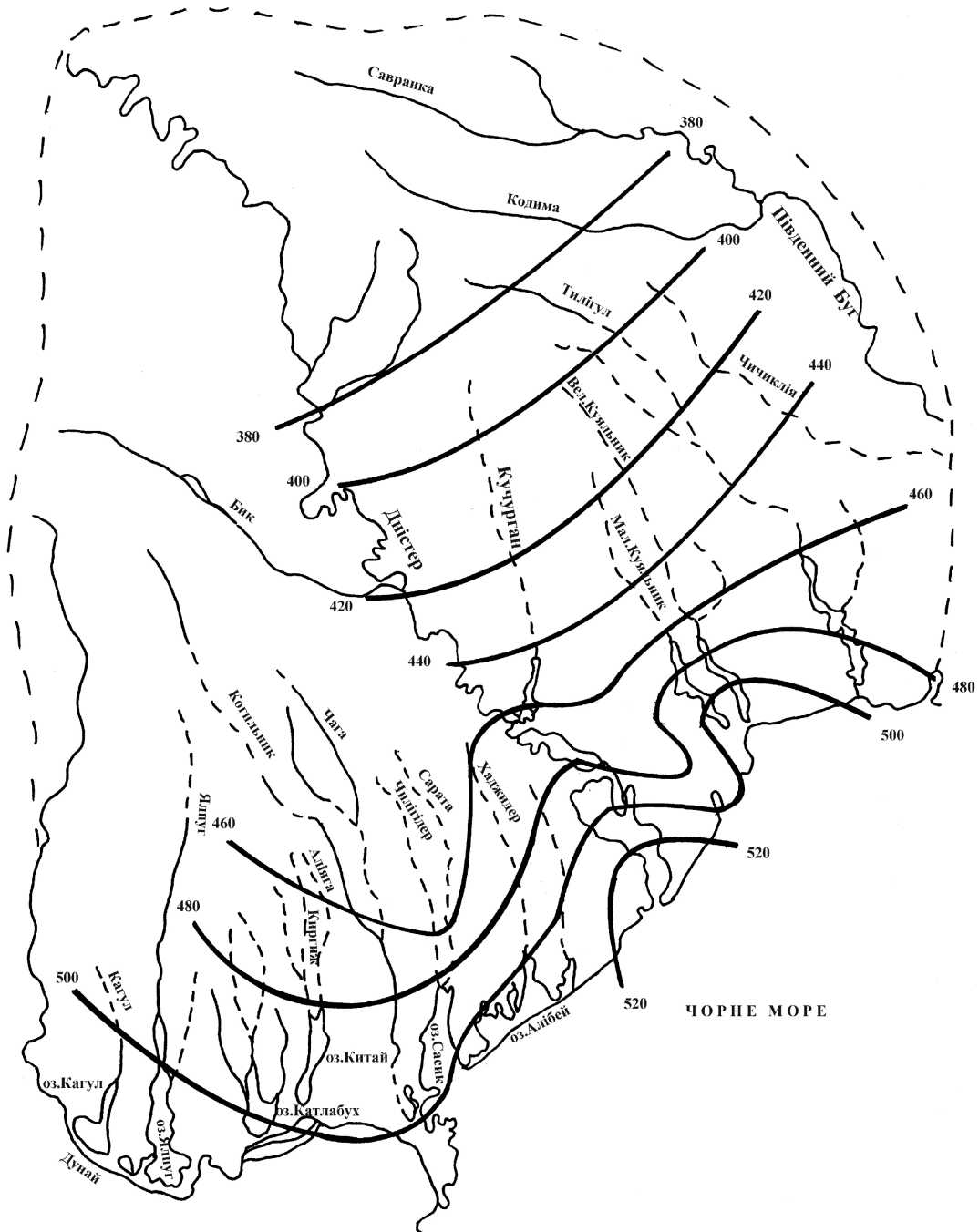
Таблиця 3.1 – Параметри зв'язку для визначення середньої багаторічної зрошувальної норми  $\overline{M}_t^{V_{\text{опт}}=1}$  за відсутності даних спостережень

Період вегетації (місяці)	А	В	С	Д
IV-IV	0.36	0.30	400	192
IV-VII	0.79	0.22	420	200
IV-VIII	1.47	-0.30	520	104
IV-IX	1.36	0	610	146
V-VII	0.80	0	420	40
V-IX	1.47	0.23	610	8
VI-VII	0.36	0.26	440	32
VI-VIII	0.75	0.14	520	18
VI-IX	1.24	-0.16	480	14

Для визначення зрошувальної норми заданої розрахункової забезпеченості за відсутності щорічних, але за наявності середніх багаторічних величин  $\overline{M}_t$ , обчислюється коефіцієнт варіації:

$$C_{v\overline{M}_t} = \frac{100V_{\text{онм}}}{\overline{M}_t}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт асиметрії зрошувальних норм дорівнює нулю ( $C_{S_{\overline{M}_t}} = 0$ ), тому що розподіл імовірностей дефіцитів зволоження практично підлягає нормальному закону.



**Рис. 3.1** Карта ізолій середніх багаторічних зрошувальних норм (мм) періоду травень – серпень за умови  $V_0 = 1$  та  $M_{V-VIII}^{V_t=1}$

Зрошувальна норма заданої забезпеченості розраховується за формулою:

$$M_{tp\%} = \bar{M}_t (1 + \Phi_{p\%} C_v \bar{M}_t), \quad (3.9)$$

де  $\Phi_{p\%}$  – нормовані відхилення від середини (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Значення параметра  $\Phi_{p\%}$

P%	5	10	25	50	75	90	95
$\Phi_{p\%}$	1.64	1.28	0.67	0	-0.67	-1.28	-1.64

Як видно з рис.3.1, у межах Одеської області оптимальна зрошувальна норма змінюється за територією. Біля північної межі області вона майже втричі менша, ніж біля південної. Це ілюструє повну неспроможність тих нормативів, які передбачають застосування одних і тих же зрошувальних норм на території всієї зрошуваної зони Півдня України.

Для потреб експлуатації зрошувальна норма визначається у кількох варіантах – для середнього року, для сухих і вологих років різної забезпеченості. В процесі експлуатації зрошувальна норма визначається на початку кожного року передбачувано, з використанням довгострокового прогнозу водності року. За відсутності або невизначеності останнього, щорічний план експлуатації складається за зрошувальною нормою, яка відповідає середньобогаторічному дефіциту водоспоживання - за нормою опадів, оптимальним випаровуванням і стоком, режим зрошення початково планується згідно з внутрішньорічним ходом дефіциту зволоження середнього року. Потім режим зрошення уточнюється на основі даних поточних спостережень і коригування прогнозів, як про це буде сказано далі. В результаті фактична експлуатаційна норма звичайно виявляється дещо відмінною від первісно запланованої.

### 3.3 Види зрошувальних меліорацій. Зрошувальна система. Її елементи та принципи побудови

Зрошення – це штучне зволоження ґрунту з метою одержання високих і стійких урожаїв сільськогосподарських культур. Одночасно із ґрунтом під час зрошення зволожуються різною мірою рослини і приземний шар повітря залежно від використовуваної технології поливу. У виробничих умовах зрошення здійснюється за допомогою комплексу гідротехнічних та інженерно-технічних споруд, які називаються зрошувальною системою.

Зрошувальні меліорації – це комплекс господарських, інженерних і організаційних заходів, спрямованих на доставлення і рівномірний розподіл

води на сільськогосподарських угіддях, які у природних умовах потерпають від її нестачі. В основі зрошувальних меліорацій лежать гідротехнічні прийоми водоподавання та перетворення води на ґрунтову вологу.

*Види зрошення.* За впливом на ґрунт і рослини зрошення поділяється на зволожувальне, удобрювальне і спеціальне.

*Зволожувальне* зрошення є переважним. Поділяється на регулярне й одноразове. При регулярному зрошенні ґрунт зволожується в необхідний термін і в необхідній кількості протягом вегетаційного періоду.

*Одноразово діюче зрошення – лиманне, або паводкове.* При цьому виді зрошення за допомогою земляних валів затримують талі води, що стікають поверхнею землі, або паводкові води в заплавах річок. Затримана вода вбирається в ґрунт, створюючи певні запаси вологи, використовувані потім сільськогосподарськими культурами.

При надходженні води в зрошувальну мережу з джерела зрошення самопливом зрошення називається *самопливним*. При підйомі води з джерела в зрошувальну мережу насосними станціями зрошення називається *механічним*.

*Удобрювальне зрошення* застосовується для внесення добрив у ґрунт за допомогою води, яка, будучи розчинником добрив, транспортує їх у ґрунт. Сюди належить полив стічними водами міської каналізації і промислових підприємств, а також весняними водами, які містять велику кількість завислих наносів, що відкладаються на полях і удобрюють їх.

*Зрошувальна система* – це земельна територія разом із мережею каналів, гідротехнічних і експлуатаційних споруд, які забезпечують забір води з джерела, транспортування і розподіл її для зрошення.

Відповідно до основного призначення, до складу регулярно діючої зрошувальної системи входять такі елементи (рис.3.2):

- 1) джерело зрошення (річка, ставок, озеро, підземні води), яке повинне забезпечувати водою зрошуваний масив протягом усього вегетаційного періоду в потрібній кількості і необхідної якості;
- 2) водозабірну споруду (чи насосна станція), яка подає поливну воду;
- 3) джерела зрошення в канал чи трубопровід;
- 4) магістральний канал (МК), який транспортує воду від водозабірної споруди до розподільних трубопроводів різних порядків;
- 5) міжгосподарські розподільники, які подають воду з магістрального каналу і його розгалужень у господарські розподільники;
- 6) господарський розподільник, що забезпечує водою господарства;
- 7) внутрішньогосподарські розподільники, що транспортують воду на сівозмінні ділянки;
- 8) дільничні розподільники, що підводять воду безпосередньо до поля сівозміни чи до поливної ділянки;
- 9) тимчасові зрошувачі;
- 10) міжгосподарська і внутрішньогосподарська водозбірно-скидна мережа

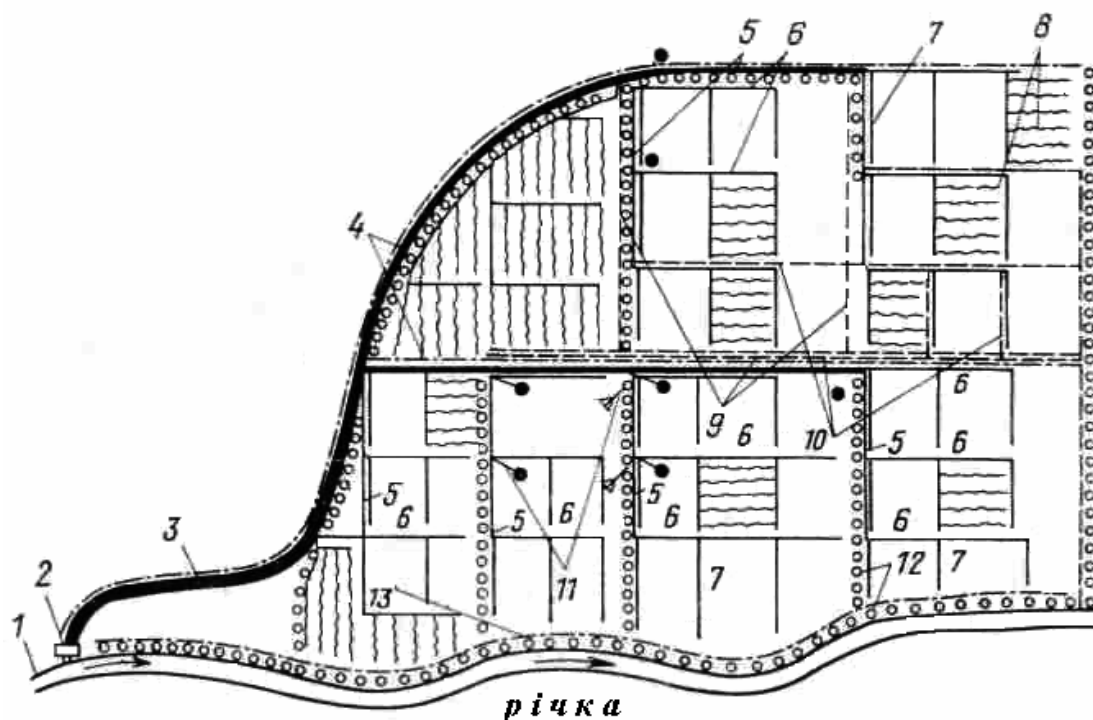
та колекторно-дренажна мережа, яка перехоплює зливові, скидні і ґрунтові води й відводить їх у водоприймач;

11) дороги, необхідні для здійснення експлуатаційних заходів, підвезення насіння, добрив, вивезення врожаю;

12) гідротехнічні споруди різних типів, конструкцій, розмірів, призначені для регулювання витрат, швидкості й горизонтів води в каналах;

13) лісосмуги, які захищають поля від шкідливої дії вітру, затінюють канали і зменшують втрати води на випаровування;

14) експлуатаційні будівлі, пристрої автоматики, зв'язку.



**Рис .3.2 Зрошувальна система та її елементи**

Зрошувальні системи за конструкцією поділяються на три основних типи: *відкриті, закриті й комбіновані.*

*Відкриті зрошувальні системи* мають канали в земляному руслі чи у вигляді лотків. Канали звичайно споруджуються із протифільтраційним захистом.

У *закритих зрошувальних системах* замість каналів використовуються трубопроводи, звичайно підземні.

Закриті системи можуть бути *стаціонарними, напівстаціонарними і пересувними*. У стаціонарних зрошувальних системах усі ланки стаціонарні. Напівстаціонарні системи мають постійні розподільні і розбірні поливні трубопроводи. У пересувних системах усі трубопроводи розбірні [2, 4].

Комбіновані зрошувальні системи складаються з відкритих магістральних і міжгосподарських каналів і закритої внутрішньогосподарської зрошувальної мережі.

Найбільш досконалими є закриті зрошувальні системи, які мають високий ККД і дозволяють автоматизувати подавання і розподіл води під час поливу, але мають і недоліки: високу вартість будівництва, великі експлуатаційні витрати.

Основні вимоги, що ставляться до каналів зрошувальної мережі: канали повинні займати командне (за висотою) положення стосовно зрошуваної площі. Ухили каналів повинні обмежувати швидкості транспортування води, у межах нижче від тих, що розмивають канали, і до максимальних витрат, що пропускаються каналами, за яких відбувалися б замулення й заростання каналів.

Розміри каналів зрошувальної мережі визначаються максимальними витратами води, які вони пропускають.

Максимальна витрата води в магістральному каналі визначається із співвідношення:

$$Q_{бр} = Q_{нетто} + Q_{вт} , \quad (3.10)$$

де  $Q_{бр}$  – максимальна витрата брутто, тобто та, що забирається із джерела зрошення, л/с;

$Q_{нетто}$  – максимальна витрата нетто, л/с, тобто та, що подається безпосередньо на зрошувану ділянку, при цьому:

$$Q_{нетто} = q_{\max} \cdot F_{нетто} , \quad (3.11)$$

де  $q_{\max}$  – максимальна ордината графіка гідромодуля, тобто витрати води, яку необхідно подавати для поливу, л/с на 1 га;

$F_{нетто}$  – площа, безпосередньо зайнята зрошуваною культурою, га;

$Q_{вт}$  – сумарні втрати води в зрошувальній мережі і на зрошуваній ділянці, л/с.

Відношення витрати нетто до витрати брутто має назву коефіцієнта корисної дії зрошувальної системи:

$$ККД_{зс} = Q_{нетто} / Q_{бр} \quad (3.12)$$

Величина  $ККД_{зс}$  зрошувальних систем змінюється від 50 до 80% і більше залежно від їх розміру та типу.

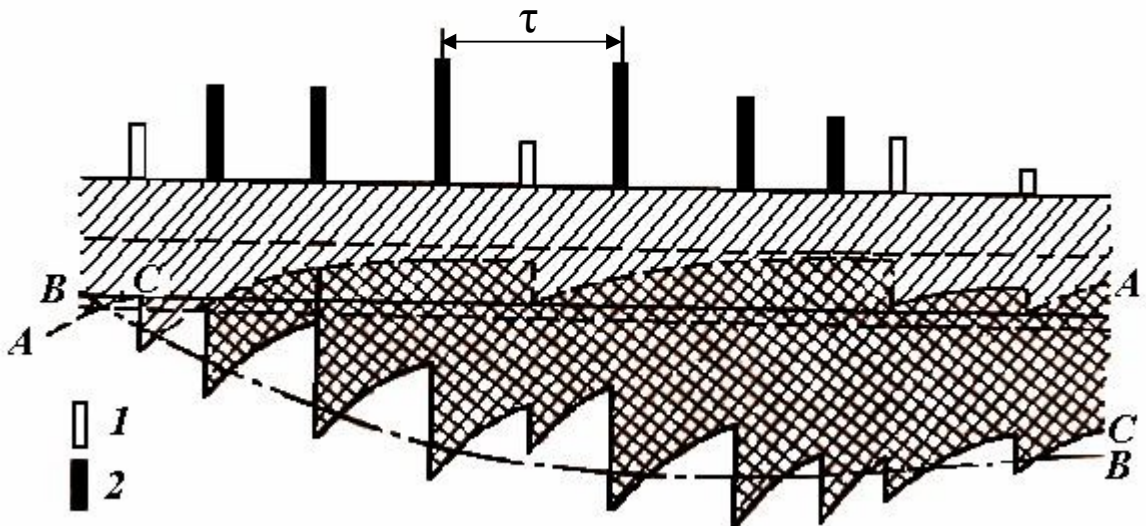


### 3.4 Режим зрошення. Розрахунок екологічно необхідної поливної норми, кількості й термінів поливу

Через обмеженість водних і земельних ресурсів при проектуванні режиму зрошення виникають дві основних вимоги: одержання максимуму сільськогосподарської продукції з одиниці зрошуваної площі й найбільш ощадливе й ефективне використання води. До поняття режиму зрошення входить визначення загального водоспоживання культури, зрошувальної норми, термінів і норм поливу, гідромодуля для сівозмінної ділянки.

*Режим зрошення* – правильне встановлення і розподіл у вегетаційний період кількості зрошувальної води, яка забезпечує оптимальний для даної культури водний режим кореневмісного шару ґрунту за даних конкретних природних і агротехнічних умов.

Графічне зображення режиму зрошення сільськогосподарських культур показано на рис. 3.3



**Рис. 3.3 Режим зрошення сільськогосподарських культур**

А–А– природний режим вологості ґрунту; В–В- необхідний режим вологості ґрунту; С – С – режим вологості ґрунту при зрошенні; 1 – опади; 2 – поливи; – міжполивний період.

Дефіцити вологи, визначені шляхом зіставлення природного водного режиму ґрунту (крива А-А) і вимог рослин до вологості ґрунту (крива В-В), заповнюють періодичними поливами 2, за яких у ґрунт подають таку кількість води, яка у певний (міжполивний) період витрачається рослинами. При періодичних поливах водний режим активного шару ґрунту змінюється не за плавною кривою В-В, а за східною С–С. Відразу ж після поливу спостерігаються максимуми вологості ґрунту, а наприкінці міжполивного періоду – мінімуми. Отже, поливами створюють новий, більш сприятливий

для рослин режим вологості (крива  $C - C$ ). Цей режим вологості повинен максимально наближатися до необхідного для рослин водного режиму ґрунту за даних агротехнічних, ґрунтових і кліматичних умов. Верхні й нижні межі кривої  $C - C$  не повинні перевищувати межі допустимі для даної сільськогосподарської культури.

Запроектований режим зрошення повинен: задовольняти потреби рослин у воді в кожну фазу їх розвитку з урахуванням вимог агротехніки й виду культури; регулювати водний, поживний, сольовий і тепловий режими ґрунту; не допускати заболочування, засолення й ерозії ґрунтів.

Розрізняють *проектний* (або *розрахунковий*) і *експлуатаційний* режими зрошення. *Проектний режим* розробляють при проектуванні зрошувальних систем. Від нього залежать об'єми й терміни подання води на поля, розміри каналів, трубопроводів та інших споруд, обсяги будівельних робіт і, врешті-решт вартість зрошувальної системи. *Експлуатаційний режим* розробляють для вже збудованих зрошувальних систем. Він необхідний для оперативного й сезонного планування водокористування.

Режим зрошення сільськогосподарських культур розробляють на основі водного балансу зрошуваного поля, тобто співвідношення надходження й витрати води на поле з урахуванням зміни її запасів у ґрунті за певний проміжок часу (декаду, місяць, вегетаційний період тощо).

*Основні витратні складові водного балансу* – транспірація вологи рослинами й фізичне випаровування з поверхні ґрунту. Оскільки окремий облік цих елементів ускладнений, на практиці визначають їх суму – сумарне водоспоживання або сумарне випаровування за формулами (2.26), (2.27-2.29).

*Основні прибуткові складові водного балансу* – атмосферні опади й волога, яка надходить у кореневмісний шар із ґрунтових вод (при їх неглибокому заляганні).

За природних умов вологозабезпеченості часто в ґрунт надходить вологи менше, ніж необхідно для оптимального водоспоживання культур. Цю нестачу вологи називають *дефіцитом водного балансу* й заповнюють подаванням на поле зрошувальної води.

Кількість води, що відповідає величині зрошувальної норми, яка встановлюється і розраховується за формулами, наведеними в пункті 3.2, подається в ґрунт окремими *поливними нормами* з таким розрахунком, щоб у ґрунті не порушувалися нормальні умови аерації й поживного режиму рослин, а також щоб подана вода не просочувалася вглиб ґрунтів і не поповнювала ґрунтові води.

*Поливна норма* – об'єм води, що подається на 1 га поля за один полив для підтримки оптимального водно-повітряного режиму в розрахунковому шарі ґрунту. Вона залежить від виду культури і фази її розвитку, потужності кореневого шару ґрунту і його водно-фізичних властивостей, вмісту солей у ґрунті, кліматичних і гідрогеологічних умов, способу і техніки поливу.

Визначається поливна норма за залежністю:

$$m = 100 \square H (\square_{HB} - \square_{\min} ), \quad (3.13)$$

де  $m$  – поливна норма, м<sup>3</sup>/га;

$H$  – розрахунковий шар ґрунту, м;

$\square$  – об'ємна маса розрахункового шару, т/м<sup>3</sup>;

$\square_{HB}$  – вологість ґрунту, яка відповідає НВ, % від маси ґрунтів;

$\square_{\min}$  – передполивний поріг вологості в шарі  $H$ , в % від вологості, яка відповідає НВ.

Розрахунковий шар ґрунту ( $H$ , м) визначається глибиною розвитку основної маси коренів рослини, і, отже, фазою її розвитку, рівнем агротехніки, іншими умовами і становить для овочевих 0.3- 0.7 м, для зернових культур і трав – 0.7-1.0 м.

У важких за механічним складом ґрунтах поливна норма більша, ніж у більш легких. Цю характеристику надає  $\square$  об'ємна маса розрахункового шару. Об'ємна маса ґрунту залежить від механічного складу, становлячи 1,38 – для супіщаних ґрунтів, 1,40 – для легкосуглинистих, 1,42 – для суглинистих, 1,45 – для важкосуглинистих і 1,50 – для глин.

Вважається, що в процесі поливу вологість у кореновому шарі ґрунту слід доводити до вологості, яка відповідає найменшій вологомісткості (НВ), тобто до тієї кількості води, яку може утримати даний шар ґрунту  $\square_{HB}$ . За умови подання більшої кількості надлишки води профільтруються в більш глибокі шари ґрунту. Завищення поливних норм призводить до винесення елементів живлення рослин за кореневий шар ґрунту, підняття рівня ґрунтових вод, заболочування і засолення ґрунтів, що знижує врожайність сільськогосподарських культур [1, 2, 4, 5]. Отже, потрібно подавати в ґрунт стільки води, скільки він зможе утримати в розрахунковому шарі, де перебуває основна маса кореневої системи.

Для кожної рослини існує свій мінімально припустимий поріг вологості  $\square_{\min}$ , при зниженні до якого рослини перестають нарощувати продуктивну масу і формувати врожай. Мінімальний поріг вологості залежить від самої рослини, її біологічної природи, періоду вегетації, вмісту солей у ґрунті, типу і виду ґрунтів. У практиці зрошення передполивну вологість беруть звичайно для вологолюбних культур (овочі, зернові, кормові) 75-85 %, для менш вимогливих до води (технічні, олійні культури) – 70-75 % від вологості, яка відповідає НВ.

На засолених землях передполивний поріг вологості збільшують на 6-10%, особливо для рослин, на розвиток яких солі в ґрунті впливають найбільш негативно (овочі, кормові культури тощо).

Отже, полив варто здійснювати в той момент, коли запас води в ґрунті знизиться до мінімально допустимої величини, і доводити цей запас поливом слід до вологості, яка відповідає НВ.

Поливна норма залежить також від техніки і способу поливу. Так, при поверхневих поливах найменша поливна норма становить 400-600 м<sup>3</sup>/га, що зумовлено забезпеченням більш рівномірного зволоження зрошуваного поля.

### 3.5 Способи зрошення і техніка поливу

*Способи зрошення.* Залежно від подавання води в ґрунт зрошення поділяється на п'ять основних видів:

1) *поверхнєве*, при якому вода розподіляється поверхнею шляхом напускання її в борозни, смуги, чеки;

2) *дощуванням*, при якому вода розприскується над поверхнею поля у вигляді дощу спеціальними машинами, установками чи агрегатами. При цьому зволожується ґрунт, рослини і приземний шар повітря;

3) *дрібнодисперсне* (аерозольне), при якому вода розпорошується над поверхнею поля у вигляді дрібних крапель (аерозолів), які зволожують приземний шар повітря, рослини і частково поверхню ґрунту;

4) *внутрішньогрунтове*, яке здійснюється введенням води в підорний шар ґрунту. При цьому підтримується оптимальна вологість кореневого шару ґрунту, зберігається структура ґрунту. Сюди ж відносять і крапельне зрошення;

5) *субіригація* (підземне зрошення), при якому зволоження кореневого шару ґрунту здійснюється шляхом штучного підвищення і підтримання рівня ґрунтових вод.

Вибір способу зрошення проводять залежно від:

- розміру поливних норм і прийнятої схеми поливу сільськогосподарських культур;
- способів обробітку ґрунту;
- швидкості вбирання води ґрунтом;
- ступеня засоленості ґрунту;
- рельєфу та ухилу поверхні зрошуваної ділянки;
- показників економічної ефективності.

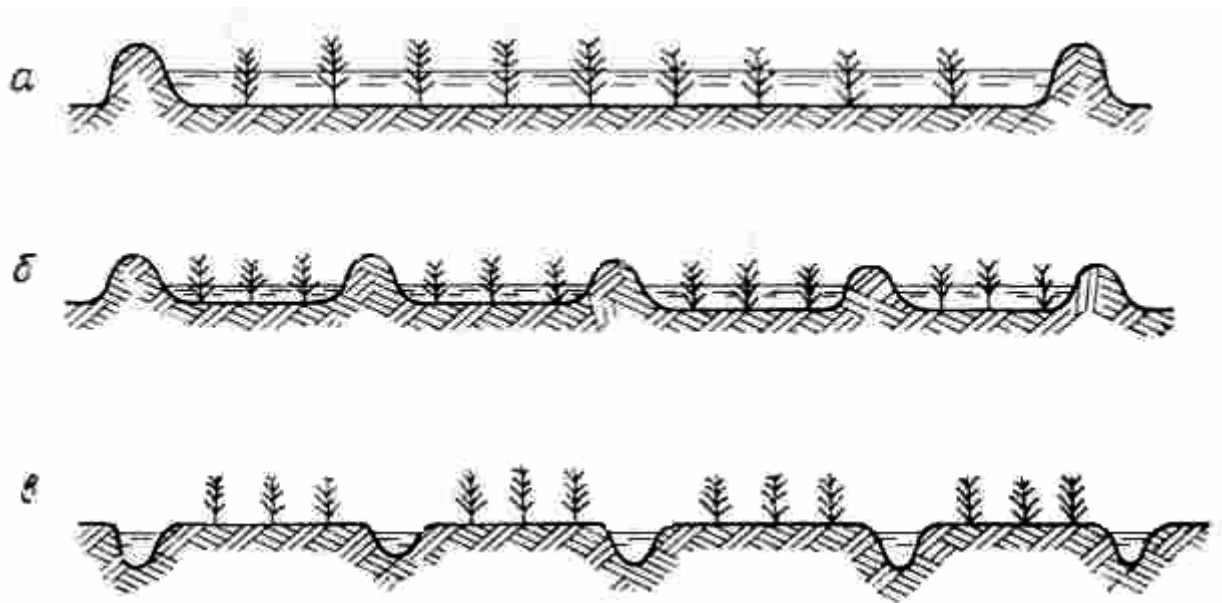
При виборі способу і техніки поливу перевага надається тим, які забезпечують більш високу механізацію поливів, автоматизацію водорозподілу, високі економічні показники.

*Поверхнєве зрошення.* В практиці зрошуваного землеробства найбільшого поширення набули три види: полив по борознах, полив по смугах і полив затопленням (рис.3.4)

*Полів по борознах.* Полів по борознах – найбільш досконалий спосіб поверхневого поливу. Він може використовуватись на всіх основних ґрунтах, не потребує значних обсягів планування робіт і не спричиняє інтенсивного руйнування структури, а також є економічним щодо затрат води [1,5]. При поливі по борознах відбувається розподіл води по полю й одночасне

зволоження ґрунту до потрібної глибини. Особливість поливу полів по борознах полягає в тому, що поливна вода, просочуючись крізь дно й укоси борозни, зволожує ґрунт між борознами. Полив по борознах застосовується переважно на площах, зайнятих просапними культурами (овочевими, цукровим буряком, кукурудзою, соняшником тощо).

За глибиною борозни поділяються на: неглибокі (8-10 см), середні та глибокі (18-20см), відповідна їм ширина становить 25-40 см. Дрібні борозни нарізають для поливу дрібнонасінних культур: цибулі, моркви, буряку, а також для культур, які поливаються в ранні фази росту. Для поливу садів і виноградників з широкими міжряддями (1 м і більше) застосовують глибокі борозни; їх використовують також для вологозарядкових поливів.



**Рис. 3.4 Способи поверхневого поливу (за Б.Г. Штепою)**

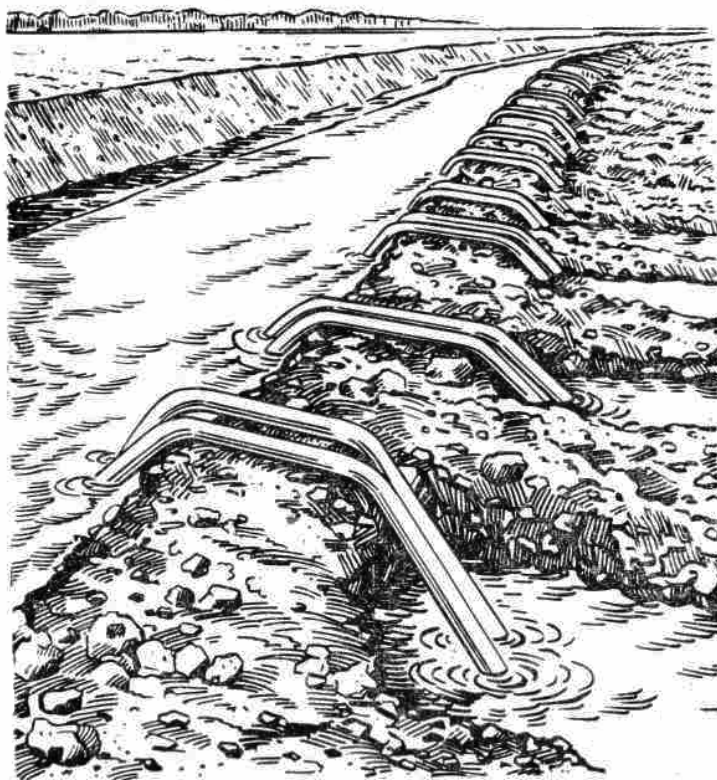
а) – полив затопленням; б) – полив по смугах; в) – полив по борознах

Довжина борозни визначається водопроникністю ґрунту й ухилом ділянки (найбільш сприятливі 0,002-0,001‰). Відстань між борознами залежить від водно-фізичних властивостей ґрунту з урахуванням міжряддя для механізованого обробітку ґрунту. Швидкість руху води борознами не повинна перевищувати 0,1 м/с. Вода із тимчасового зрошувача або вивідної борозни в поливні борозни подається з допомогою переносних сифонів або поливних трубок (рис.3.5) Витрата води для поливу в кожен борозну збільшується зі збільшенням водопроникності ґрунтів, зменшенням ухилу та збільшенням довжини борозни (від 0,2 до 1,2 л/с). За принципом дії поливні борозни поділяють на незатоплювані (або проточні) і затоплювані. Найбільш поширені проточні борозни, глибина затоплення яких становить  $1/3 \div 1/5$  глибини борозни.

Крім зазначених типів борозен, для вологозарядкових і передпосівних поливів, особливо на ділянках з недостатньо рівною поверхнею і на ґрунтах зі слабкою водопроникністю, з метою полегшення поливу і збільшення поливних норм застосовують борозни-щілини.

Вони відрізняються від звичайних борозен тим, що нижче від дна борозни нарізається вузька (35 мм) щілина, так що загальна глибина борозни зі щілиною досягає 40 см. Змочений периметр їх у 2-2,5 раза більший, ніж у звичайних борозен, тому вони швидше поглинають більшу кількість води.

При цьому способі поливу поливні норми можуть змінюватися від 400 до 1000 м<sup>3</sup>/га.



***Рис. 3.5 Подавання води сифонами із тимчасового зрошувача в поливні борозни [8]***

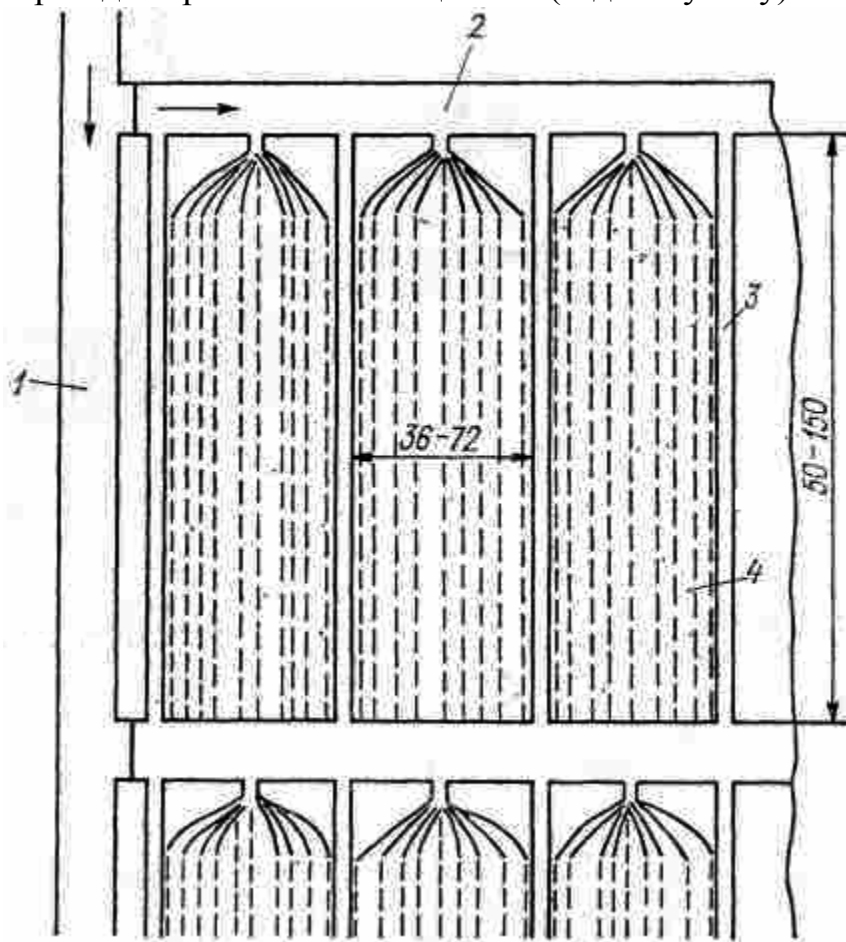
*Полив напуском по смугах.* Так поливають культури суцільного висівання – зернові, трави.

Полив напуском по смугах можна проводити в межах усього інтервалу допустимих для зрошення ухилів (0,02-0,0005). Якщо ухили менші, вода дуже повільно рухається поверхнею, внаслідок чого смуга зволожується нерівномірно. При більших ухилах виникає загроза розмивання ґрунтово-рослинного шару. Крім того, для поливу напуском по смугах на всій довжині смуги потрібно мати рівномірний ухил.

Перед поливом зрошувані землі розподіляють на смуги, розмежовані невеликими земляними валами. Висота валів 15-20 см, ширина знизу 45-60 см. Ширина смуг кратна ширині захоплення сівалки – 4-12 м, а довжина становить 50-150 м (рис.3.6).

Вода на смугу подається з тимчасового зрошувача проміжною канавою, яка називається вивідною борозною.

Положення смуг і тимчасових зрошувачів на місцевості залежить від рельєфу поверхні зрошуваних земель. Звичайно їх розміщують перпендикулярно до горизонталей місцевості (вздовж ухилу).



**Рис. 3.6** *Схема поливу напуском по смугах*

1 – тимчасовий зрошувач; 2 – вивідна борозна; 3- валик; 4 – поливна смуга

Кількість води, яка надходить з вивідної борозни протягом 1 с на 1 м ширини смуги, називається питомим поливним струменем. Витрата поливного струменя для поливу напуском по смугах становить 2-10 л/с. Величина питомого поливного струменя залежить від водопроникності ґрунту: збільшується при підвищенні водопроникності ґрунтово-рослинного шару.

Позитивним у поливі напуском по смугах є можливість його застосування на землях, де можливе засолення. Це пояснюється тим, що

рівномірний шар води, який вкриває ґрунт, не спричиняє перерозподілу солей на площі і сприяє їх переміщенню від поверхневих у нижні шари.

*Недоліком* цього способу є те, що під час поливу руйнується структура ґрунтово-рослинного шару і на його поверхні утворюється кірка.

*Полив затопленням* застосовують в основному під час вирощування рису, при лиманному зрошенні й промиванні засолених ґрунтів. Полив затопленням проводять на ґрунтах невисокої водопроникності за малих ухилів місцевості (0,0002-0,002). При цьому способі поля поперечними й поздовжніми валками розбиваються на чеки площею від 0,5 до 5 га (дрібні), від 8 до 50 га (великі). Звичайно чеки роблять прямокутними й обгороджують їх валками висотою 0,25-0,5 м. Іноді валки розташовують уздовж горизонталей місцевості. Такі чеки називаються контурними. Для швидкого затоплення горизонтальних ділянок біля валка роблять чекову канавку.

Негативним у цьому способі поливу є погіршення санітарних умов місцевості (сприяє поширенню малярії), можливість повторного засолення та заболочення прилеглих земель. Полив затопленням пов'язаний із великими втратами води на фільтрацію, тому рис потрібно сіяти на ділянках із слабопроникними породами.

*Дощування.* Дощуванням називається спосіб поливу, при якому насосна установка забирає зрошувальну воду зі зрошувального каналу і подає трубами до насадок, із яких викидається в повітря і у вигляді дощових крапель падає на рослини й на ґрунт. Він має такі *переваги* перед поверхневим зрошенням:

- Дощування – це механізований спосіб поливу.
- Дощування дає можливість проводити полив на ділянках із великими ухилами і складним мікрорельєфом.
- Під час поливу дощуванням можна точно і в широких межах (від 50 до 300-600 м<sup>3</sup>/га) регулювати норму поливу. Це дає можливість створити водно-повітряний режим ґрунту, близький до оптимального, і регулювати глибину зволоження ґрунту, що необхідна тоді, коли зрошують землі з близьким заляганням рівня ґрунтових вод.
- Відпадає потреба у спорудженні валків, поливних і вивідних борозен. Поліпшуються умови механізації сівби, садіння, обробітку та збирання сільськогосподарських культур порівняно до умов механізації цих процесів на ділянках із борознами або смугами.
- Порівняно з поверхневим зрошенням дощування більшою мірою поліпшує мікроклімат, активізує процеси асиміляції, сприяє розвитку кореневої системи рослин, підвищує родючість ґрунту і збільшує врожаї сільськогосподарських культур. Запланований урожай вирощують при меншій (на 15-30 %) витраті води, ніж при поверхневому зрошенні.



- Дощування дає можливість одночасно зі зрошенням вносити в ґрунт добрива, його можна використовувати також для боротьби зі шкідниками рослин.

*Недоліки дощування:*

- висока вартість устаткування;
- потреба в додатковій енергії;
- нерівномірність зволоження при вітрі, особливо при поливі далекоструминними апаратами.

Основним показником при виборі тієї або іншої конструкції дощувальних машин або взагалі з'ясування доцільності застосування дощування є *інтенсивність дощу*, яка повинна відповідати водопроникності зрошуваного ґрунту або швидкості вбирання вологи без утворення калюж. Вбирання води в ґрунт при дощуванні відрізняється від вбирання при поверхневих способах поливу і в 2-3 рази менше за величиною.

*Інтенсивністю дощування* називається кількість води, що подається дощувальною установкою за одиницю часу і вимірюється в мм/хв. Відповідно до агротехнічних вимог, середній діаметр крапель дощу не повинен перевищувати 1,5 мм. Більші за розміром краплі руйнують ґрунтові агрегати, ущільнюють його.

Рівномірність дощування характеризується *коефіцієнтом рівномірності*, який є відношенням середнього шару водоподання на даній площі до максимального шару на будь-якій її частині:

$$k_{pv} = h_{сер} / h_{макс} \quad (3.14)$$

Допустимим вважається  $k_{pv}$  не менше, ніж 0,7-0,8.

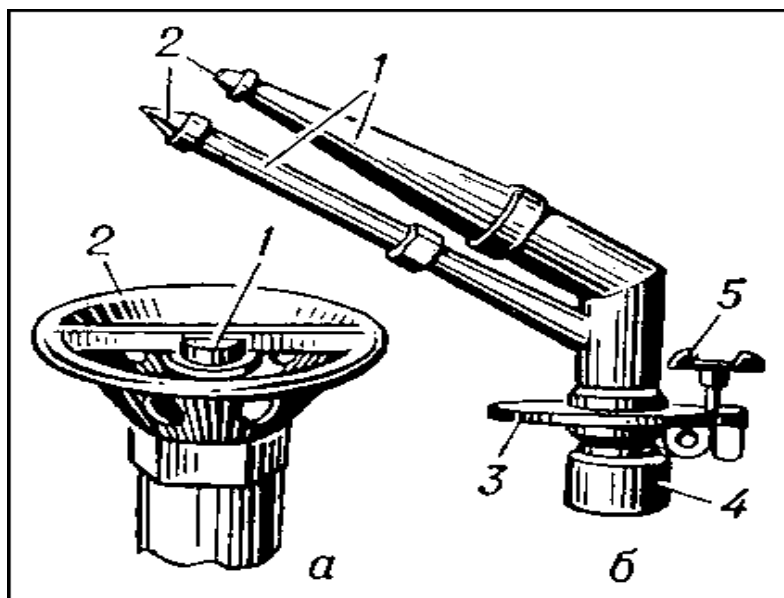
Зрошувальні системи, у яких ґрунт зволожується за допомогою дощувальних пристроїв чи установок називають *дощувальними*. Дощувальні системи за ступенем закріплення на місцевості розподіляються на стаціонарні, напівстаціонарні і пересувні. Всі елементи *пересувної системи* (насосна станція, магістральний і розподільні розбірні трубопроводи та дощувальні пристрої) не закріплені на місцевості і можуть перевозитись на будь-яку ділянку. У *стаціонарній* системі її елементи закріплені на місцевості.

Найбільш поширені *напівстаціонарні* дощувальні системи, які відрізняються відносно невеликими капітальними вкладками в будівництво і щорічними експлуатаційними витратами. У *напівстаціонарній* системі закріплені підземні магістральний, розподільний або зрошувальний трубопроводи, а дощувальні крила і пристрої пересуваються зрошуваним полем.

Дощувальні установки являють собою конструкцію, яка створює штучний дощ. Основним робочим органом, який перетворює водний потік на дощові краплі, є різного типу насадки й апарати. У практиці дощування в основному застосовуються такі види насадок: короткоструминні (дефлекторні), середньо- і далекоструминні (рис.3.7).

*Короткоструминні* насадки розбризкують дощ на 8-10 м, *середньоструминні* – 15-30 м і *далекоструминні* – 40 м і більше. Відповідно до виду насадок і апаратів дощувальні машини і установки бувають коротко-, середньо- і далекоструминні.

За принципом роботи розрізняють установки і машини *позиційної дії*, які здійснюють поливи заданої норми на певній позиції, і ті, що поливають в *русі*, при цьому поливна норма виливається за кілька проходів дощувальної машини чи агрегата.



**Рис. 3.7 Робочі органи дощувальних машин і установок:**

- а – короткоструминна дефлекторна насадка (1 – дефлектор; 2 – воронка);  
б – далекоструминна дощувальна установка (1 – стовбури; 2 – сопло; 3 – обертова опора; 4 – трубопровід; 5 – крильчатка)

Дощувальні установки класифікують також за типом зрошувальної мережі ті, що працюють від закритої зрошувальної мережі або відкритої зрошувальної мережі, при переміщенні на зрошуваній ділянці: на самохідні та ті, що переміщуються з допомогою спеціальних пристроїв.

Свого часу на зрошуваних масивах України широкого розповсюдження набули короткоструминні двоконсультні дощувальні агрегати ДДА-100МА, ДДА-100МА, *середньоструминні* дощувальні машини Фрегат, ДФ-120 «Дніпро» та *далекоструминний дощувач навісний* ДДН-70.

Агрегат ДДА-100МА – це навішена на трактор трикутна ферма з рівномірно розташованими на ній короткоструминними насадками. За допомогою відцентрового насоса, що приводиться в дію від валу відбору потужності трактора, агрегат забирає воду з відкритих зрошувальних каналів і розбризкує її у вигляді дощу під час руху трактора вздовж каналу зі швидкістю близько 500 м/год. Агрегат обладнаний гідропідживлювачем, за допомогою якого разом із поливною водою вносять мінеральні добрива. ДДА-100МА призначений для поливу всіх культур, крім багаторічних насаджень, висота рослин не повинна перевищувати 1,2 м. Для роботи агрегата на зрошуваному полі споруджують відкриті зрошувальні канали на відстані 120 м один від одного. Глибина каналів 50-60 см. Вздовж кожного зрошувального каналу розташована добре спланована дорога. Під час руху агрегат поливає смугу шириною до 120 м (на 60 м у кожний бік) зі швидкістю близько 360 м/год.

*Широкозахоплювальна дощувальна машина «Дніпро»* (рис.3.8) фронтальної дії.

Ця машина належить до багатоопорних дощувальних машин, які працюють позиційно від гідранта закритої зрошувальної мережі. Вона призначена для поливу різних сільськогосподарських культур, включно із високостебловими. Машина складається з водопідвідного трубопроводу, виготовленого з алюмінієвого сплаву і закріпленого на опорних візках. З обох боків трубопроводу вмонтовані забірні пристрої, що дозволяють під'єднувати машину до гідрантів зрошувальної мережі з будь-якого кінця. До кожного візка і трубопроводу кріпляться сфери - відкритки, на кінцях яких розміщені дощувальні апарати «Роса - 3».



***Рис. 3.8 Широкозахоплювальна дощувальна машина «Дніпро»***

Машина обладнана електроприводом, що складається з мотор-редукторів, розміщених на візках. Для підтримки прямолінійного положення трубопроводу щодо лінії гідрантів при переїздах з позиції на позицію існує механізм керування із системою сигналізації та синхронізації.

Витрата води, л/с – 120;

Напір на гідранті, м – 45;

Відстань між гідрантами, м – 54;

Середня інтенсивність дощу, мм / хв – 0,285;

Кількість опорних візків, шт – 17;

Кількість дощувальних апаратів, шт – 34;

Швидкість пересування машини з позиції на позицію, км – 0,47;

Привід візків електричний

Продуктивність за 1 годину чистої роботи

При поливній нормі  $300 \text{ м}^3 / \text{га}$ , га – 1,46;

Довжина, м – 448;

Ширина захоплення з урахуванням перекриття, м – 460;

Висота розташування трубопроводу від землі, м – 2,1.

*Широкозахоплювальна дощувальна машина ДМ-100 «Фрегат»* (рис. 3.9) призначена для поливу всіх сільськогосподарських культур, включно із високостебловими, за винятком плодових, а також лук і пасовищ. «Фрегат» можна застосовувати на ділянках зі складним рельєфом, але вільних від дерев, стовпів, будівель, ярів, валунів та інших перешкод на ухилах до 0,05.



**Рис. 3.9 Широкозахоплювальна дощувальна машина ДМ-100 «Фрегат»**

«Фрегат» являє собою самохідний багатоопірний трубопровід, на якому розташовані середньострумінні дощувальні апарати (49 шт.) Машина поливає площу по колу. Трубопровід встановлений на самохідних А-подібних колісних опорах-візках, які приводять до руху гідроприводи за рахунок використання напору води в провідному трубопроводі, тому зрошувальна вода повинна бути вільною від піщаних наносів, більших за 0,2 мм. Машина живиться водою зі свердловин або від гідрантів закритої зрошувальної мережі.

Повний комплект машини містить 16 секцій-візків; залежно від місцевих умов їх можна зменшити до 10-12; витрата машини в цьому випадку коливається в межах 50-100 л/с. Істотною перевагою машини «Фрегат» є висока продуктивність праці на поливі, оскільки один оператор обслуговує одночасно 3-4 агрегати, тобто до 400 л/с, висока надійність роботи навіть на ділянках зі складним рельєфом; можливість роботи цілодобово; добра якість дощу (інтенсивність 0,20-0,32 мм / хв), широкі межі регулювання поливних норм (240-1250 м<sup>3</sup>/га); можливість поливу високостеблових культур; мережа підземних трубопроводів (через 900 м).

До *недоліків* цієї машини належать: недополив 12-15 % площі, розташованої між поливними колами й межами ділянки, необхідність поливу тільки освітленою водою (мутність до 5 г/дм<sup>3</sup>); велика витрата металу на машину і на підземні трубопроводи; висока енергоємність поливу.

Беручи до уваги конструкції наявних поливних мереж на зрошувальних системах України і відсутність власного виробництва дощувальних машин нового покоління, можна виділити з низки наявних дощувальних машин закордонного виробництва прототипи машин, які задовольняють вимоги сталого розвитку зрошуваного землеробства, а тому можуть прийти на заміну морально застарілих українських дощувальних машин і агрегатів на полях України:

- сучасна модифікація дощувальної машини фірми «Valmont Industries» (США) із коловим рухом і електроприводом фірми RKD (Іспанія) та живленням привідних електродвигунів опорних візків від кабельної електромережі як заміник гідропривідної ДМ «Фрегат» на наявних мережах;
- фронтальну електрифіковану ДМ із дизель-генератором і живленням від зовнішньої електромережі фірми RKD (Іспанія) як заміник фронтального дощувача з електроприводом ДФ «Дніпро», дощувача ДКШ-64 «Волжанка» і дощувального агрегату типу ДДА-100 на закритих зрошувальних системах;
- смуговий зрошувач шланго-барабанного типу фірми Bauer (Австрія) як заміник позиційного дощувача ДКШ «Волжанка» й можливий заміник дощувального агрегату типу ДДА-100 (4 дощувачі на заміну одного агрегату). Питома вартість виготовлення цих засобів поливу в Україні на 20 % нижча від їх вартості в країні-виробнику.

Згідно з техніко-економічними розрахунками, старі дощувальні машини доцільно замінити машинами нового покоління з урахуванням витрат на часткову реконструкцію зрошувальних мереж, необхідність якої зумовлена розбіжностями в характеристиках дощувальної техніки нового та старого покоління.

Прототипами машин, які можуть замінити дуже недосконалий дощувач «Дніпро», мають бути електрифіковані дощувальні машини фронтального поливу, які випускають вищеназвані фірми, з живленням від гідранта через гнучкий трубопровід відносно невеликої довжини. В дощувальній машині фірми «Irrifrance» живлення електродвигунів приводу пневматичних коліс опорних візків передбачається під гнучкого кабеля, що переміщується разом із машиною, з почерговим під'єднанням до підземної кабельної мережі, у машинах фірм «Valmont» і RKD – від власного дизель-генератора, змонтованого на першому візку. Стабілізація курсу руху в обох машинах здійснюється автоматично з використанням копіїв, які переміщуються в попередньо прокладену глибоку борозну на узбіччі польової дороги.

Машини поливають у русі безперервно до моменту витягнення гнучкого трубопроводу на всю довжину вздовж підземного поливального трубопроводу. Після цього машина зупиняється, водозабірною колонкою гнучкого трубопроводу гідрант закривають, колонку знімають з гідранта й переміщують уперед по ходу руху машини, встановлюють на гідрант, гідрант відкривають і машина продовжує полив. У міру вичерпування вільної довжини електрокабелю він від'єднується від розетки стаціонарного кабелю, перетягується вперед і приєднується до наступної розетки.

*Дощувальна машина "Centerliner 168 CLS", маючи добрі показники якості роботи, надійності, технологічні й енергетичні показники, знайшла використання в зрошувальному землеробстві Півдня України. При цьому вона застосовується на зрошувальних мережах, призначених для дощувальних машин ДФ-120 "Дніпро", які вже вітчизняною промисловістю не виробляються, але мережі під ці машини наявні в господарствах українських сільськогосподарських виробників.[9].*

До складу дощувальної машини "Centerliner 168 CLS" входять центральний водоприймальний візок із автономною енергосиловою установкою, водопровідний трубопровід із дощувальними насадками, самохідні опорні візки, системи керування, сигналізації та захисту, гнучкого шланга для подавання води. Водопровідний трубопровід має збірну конструкцію з шести прогонів-ферм (рис. 3.10), шарнірно з'єднаних між собою.

Кожна ферма спирається на опорний візок, який являє собою конструкцію з підтримної балки, стояків і двох пневматичних коліс (рис.3.11). Привід кожного колеса здійснюється від мотор-редуктора через карданний вал. На трубах ферми розташовані регулятори тиску та дощувальні насадки. Кожна насадка складається з двох розпорошувачів – для



лінійного та колового режимів. Системи керування, сигналізації й захисту забезпечують автоматичний пуск і зупинку мотор-редукторів, вибір режимів роботи машини, автоматичний рух машини борозною керування та опорних візків у лінію, контроль низки робочих параметрів, захист систем машини від аварійних ситуацій.



*Рис. 3.10 Загальний вигляд водопровідного трубопроводу дощувальної машини "Centerliner 168 CLS"*



*Рис. 3.11 Загальний вигляд центрального візка дощувальної машини «Centerliner 168 CLS»*

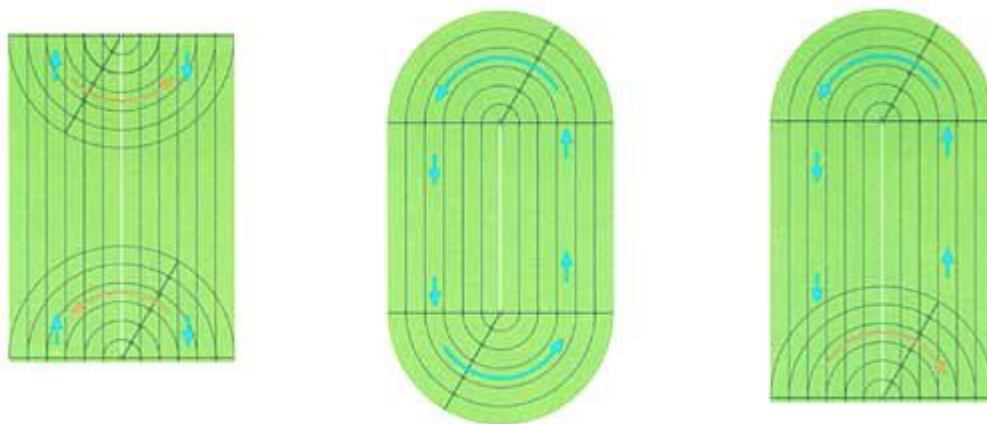
Технологічний процес складається з таких основних операцій: підготовки до пуску, пуску і роботи на заданому режимі, зупинки, переїзду в разі потреби на іншу позицію.

Підготовка машини до пуску полягає в приєднанні гнучкого шланга до гідранта, відкриванні його й заповненні водою водопровідного трубопроводу машини. Після цього здійснюється пуск машини і за допомогою таймера часу задається швидкість її руху.

Відстань між гідрантами 200 м, а довжина гнучкого водопровідного шланга – 110-120 м. Тому при проходженні машиною з поливом 100 м після гідранта вона зупиняється й відбувається перемикавання шланга на наступний гідрант і за допомогою трактора транспортується до наступного по ходу руху машини гідранта.

У схемі поливу "Centerliner" перемикавання відбувається на кожний четвертий гідрант мережі "Дніпра" – через 216 м (54 м x 4). При довжині водозабірної шланга "Centerliner" 110 м машина, проходячи з поливом 108 м після гідранта (половина відстані між гідрантами), зупиняється і відбувається приєднання шланга до наступного гідранта. Для цього шланг від'єднується від гідранта і за допомогою трактора кінець шланга транспортується до наступного по ходу руху машини гідранта. Конструкцією машини передбачена можливість поливу в коловому режимі.

Використання комбінації лінійного та колового режимів дозволяє здійснювати полив на полях різної конфігурації, а також здійснювати переїзд на сусіднє поле, розвертаючи машину на 180°, без поливу (рис. 3.12).



**Рис. 3.12 Технологічні схеми зрошення дощувальної машини "Centerliner 168 CLS":**

а - лінійний режим із внутрішнім холостим поворотом; б - лінійний режим із зовнішнім поворотом зі зрошенням; в - лінійний режим із зовнішнім поворотом зі зрошенням і внутрішнім холостим поворотом.

Проведені досліді під час випробувань показали, що машина має задовільні показники якості роботи. Загальні витрати води при тиску на



вході в машину 0,35 мПа становили 60 л/с, а робоча ширина захоплення – 340 м. Коефіцієнт ефективного поливу склав 0,72, рівномірності зрошення – 81,1 %, що задовольняє агрономічні вимоги. Середня інтенсивність дощу (1,1 мм/хв.) та середній діаметр крапель (1,2 мм) свідчать про добру структуру дощу, який створює машина.

Стартостопний режим та економічний дизельний двигун забезпечують мале споживання енергії від генератора на привід опорних візків, що зумовлює малі питомі витрати палива та енергії. Машина має в цілому задовільні продуктивність і експлуатаційно-технологічні показники. Комбінація лінійного та колового режимів дає можливість застосовувати двопозиційну схему поливу, що дозволяє збільшити сезонне навантаження на машину.

Альтернативним варіантом заміни застарілих дощувачів «Дніпро» може бути застосування на полях дощувачів смугового поливу — шланго-барабанних установок, які є основним типом дощувачів європейських країн. Ці дощувачі виготовляють понад 200 фірм у Німеччині, Італії, Австрії, Франції, Іспанії та інших країнах. Вони являють собою барабан великого діаметра, який встановлено на пневмоколісне одно- чи двовісне шасі, на який намотується гнучкий поліетиленовий трубопровід, що не зминається, діаметром від 40 до 140 мм і довжиною від 130 до 580 м. До вільного кінця поліетиленового трубопроводу приєднаний далекоструминний апарат, встановлений на дво- чи чотириколісному штативі, або складаний трубопровід (штанга) на вантовій підвісці з короткоструминними дощувальними насадками чи середньоструминними дощувальними апаратами з малими діаметрами сопел. Шасі в більшості випадків обладнується поворотною платформою для можливості зміни положення поздовжньої осі барабана без переміщення всієї установки, що зменшує площу витолочування зрошуваних сільськогосподарських культур.

Дощувач приєднується до поливної мережі водозабірною колонкою з гнучким шлангом. За входом в установку в проточному тракті обладнано гідравлічну турбінку, як правило, тангенціального типу, обертання якої через редуктор і ланцюг передається на вісь чи зубчасту реборду барабана. Принцип роботи цього дощувача полягає в наступному. Трактором установка доставляється до гідранта на початку поля й встановлюється так, щоб вісь обертання барабана була паралельна лінії гідрантів. Шасі заякорюється упорами і штатив із далекоструминним апаратом чи складаною штангою прикріплюється до гідросистеми трактора. Трактор, рухаючись полем перпендикулярно до лінії гідрантів, переміщує штатив і гнучкий трубопровід, який при цьому змотується з барабана. Досягши краю поля, штатив від'єднують від трактора, розкладають штангу, після чого поливальник на тракторі повертається до установки.

Закріпивши водозабірну колонку на гідранті й відкривши його, починають полив. Вода, пройшовши крізь проточний тракт, потрапляє в

порожнину осі барабана, входить у гнучкий трубопровід і, заповнивши його, виливається крізь дощувальні насадки чи маловитратні середньострумінні дощувальні апарати. Завдяки обертанню гідротурбінки барабан повільно обертається, намотуючи на себе гнучкий трубопровід, тому штативи з дощувальними засобами переміщуються в напрямі лінії гідрантів сухим ґрунтом. Після запуску в роботу установки необхідності в присутності поливальника немає.

Для щільного укладання гнучкого трубопроводу на барабан в установках є пристрій, що притискає новоутворюваний виток до наявного («води́ло») а також пристрій, який ступінчасто зменшує кутову швидкість обертання барабана після укладання повного шару витків трубопроводу на барабан. Є також пристрій для автоматичної зупинки руху барабана у разі наближення до нього штатива на задану відстань з автоматичним перекриттям доступу води в установку.

Після поливу позиції, ширина якої може сягати від 40 до 80 м, поливальник, закривши гідрант, знявши водозабірну колонку й піднявши штатив на спеціальну транспортну раму, переміщує трактором установку до наступного гідранта, повторює знову всі описані операції.

Максимальна витрата води однією установкою не перевищує 25 л/с.

*Підґрунтове зрошення* (рис. 3.13) ґрунтується на дії вбиральної сили ґрунту, тому його можна застосовувати на ґрунтах із добрими капілярними властивостями і водонепроникним підґрунтям і не можна на піщаних, супіщаних, просадних і засолених ґрунтах.



**Рис. 3.13 Підґрунтове зрошення**

Система підґрунтового зрошення складається з насосної установки, відкритих провідних каналів або закритих трубопроводів, підземних головних трубопроводів, зрошувальних і дренажних труб, споруд на мережі. Вода в ґрунт може подаватись різними способами:

- пористими трубами, укладеними паралельно одна одній через 1,75-2 м на глибині 40-45 см;
- водонепроникними трубами зі стиками через 30 см, забитими фільтрувальними матеріалами, укладеними через 5-6 м на глибині 40-45 см;
- штучними кротовинами, утвореними на глибині 40-50 см через 1,0-1,5 м.

Головні *переваги* підґрунтового зрошення: є можливість підтримувати вологість активного шару ґрунту на рівні капілярної вологомісткості; структура орного горизонту не руйнується поливами, не утворюється кірка, випаровування з поверхні ґрунту менше і запаси води в ґрунті зберігаються довше, ніж при поливі дощуванням; полив автоматизований і витрати праці при цьому незначні, немає перешкод для механізації всіх сільськогосподарських робіт, тому відсутня тимчасова зрошувальна мережа; менше бур'янів; є можливість використання стічних вод і теплових відходів для вирощування ранніх овочів.

До *недоліків* підґрунтового зрошення належать: висока вартість систем; незастосовність на легких, засолених ґрунтах; слабе зволоження верхнього шару ґрунту, що погіршує умови для сходів; великі втрати води на фільтрацію в горизонти, нижчі від активного шару ґрунту; необхідність освітлення зрошувальної води для запобігання замуленню зрошувальних труб.

*Крапельне зрошення* – спосіб поливу сільськогосподарських культур, коли вода подається густо розгалуженою системою трубопроводів крізь спеціальні мікроводавипуски (крапельниці) малими нормами безпосередньо в кореневу зону рослин. Схема системи крапельного зрошення наводиться на рис.3.14

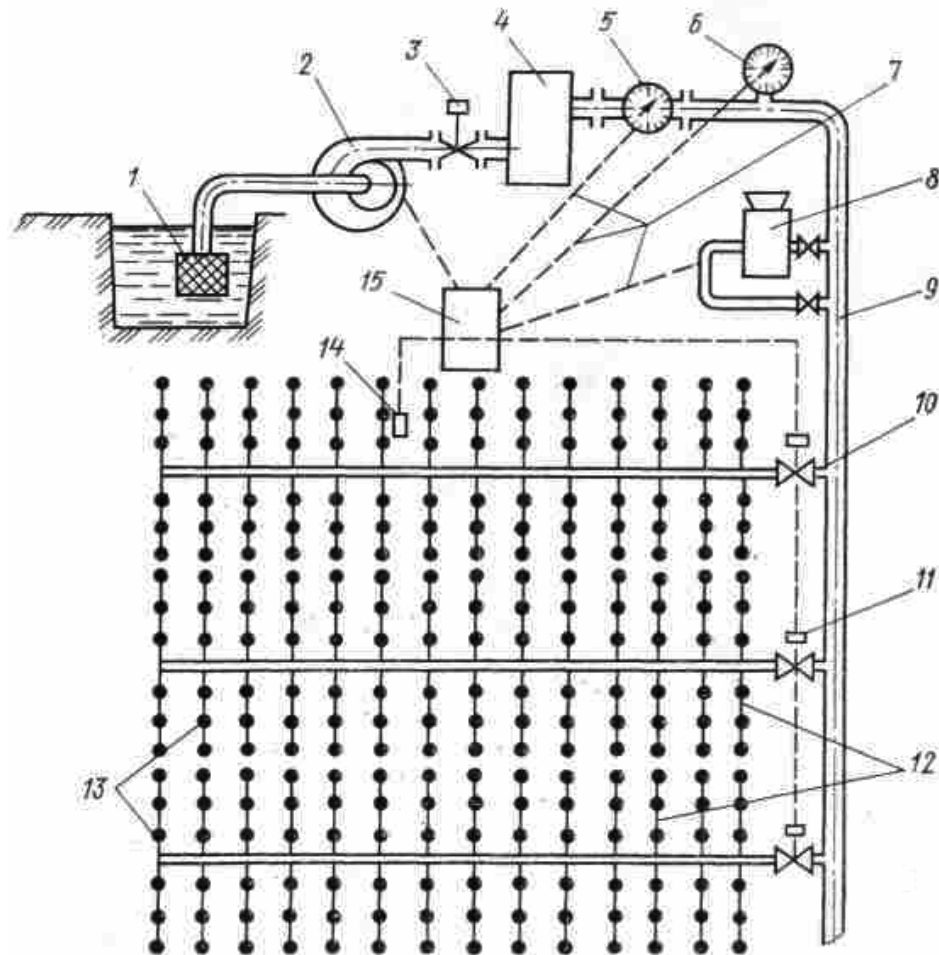
Система призначена для приймання необхідної кількості води, обліку її, зниження тиску до необхідного робочого рівня, фільтрації води, приготування розчину добрив і подавання води й розчиненої суміші до основної магістралі і далі – до крапельних ліній.

Як джерела водопостачання для систем крапельного зрошення можуть бути відкриті водоймища, канали, свердловини.

До *переваг* крапельного зрошення належать: економна і чітко спрямована на зволоження ризосфери витрата води, можливість автоматизації поливу, можливість принципово по-новому вносити добрива (норма внесення та склад розраховуються відповідно до потреби рослини й стадії вегетації).

Але крапельне зрошення має й деякі суттєві *недоліки*: можливість швидкого засмічення крапельниць, можливість вторинного засолення ґрунтів, висока вартість.

В Україні крапельне зрошення почали активно впроваджувати з 1997 року для вирощування овочів, садів і виноградників.



**Рис. 3.14** *Схема системи крапельного зрошення:*

1,2 – водозабірний і напоротвірний вузли; 3 – головна засувка; 4 – фільтр; 5 – водомірний пристрій; 6 – манометр; 7 – канали зв'язку; 8 – пристрій для подання добрив до поливної мережі; 9 – магістральний трубопровід; 10 – розподільний трубопровід; 11 – дистанційно керована засувка; 12 – поливні трубопроводи; 13 – крапельниці; 14 – датчики необхідності поливу; 15 – пульт керування.

На ринку поливної техніки України найбільш широко представлені системи крапельного зрошення та його складові італійських, ізраїльських, грецьких фірм, вітчизняний виробник (ТОВ «Техносервіс» м. Мелітополь) також досить широко представлений.

### 3.6 Види поливів

За своїм призначенням поливи поділяються на вегетаційні, вологозарядкові, освіжаючі, протизаморозкові, живильні тощо.

*Вегетаційні поливи* забезпечують необхідний водно-термічний режим полів у вегетаційний період життя рослин. Правильне визначення термінів і норм таких поливів є метою меліоративної гідрології.

*Вологозарядкові й передпосівні поливи* проводяться звичайно восени або навесні (перед посівами) з метою збільшення запасів ґрунтової вологи. Тим самим зменшується кількість вегетаційних поливів і відсуваються терміни їх проведення.

*Вологозарядкові (осінні) поливи* застосовуються при глибокому заляганні ґрунтових вод. При високому стоянні ґрунтових вод можливий передпосівний полив малою нормою, що дозволяє уникнути змикання зрошувальної води із ґрунтовою. Осінні вологозарядкові поливи здійснюються до оранки або після сівби. До оранки вологозарядку роблять у тих випадках, коли ґрунт після збирання попередника сильно висушений і не піддається обробці, необхідній для посіву озимих.

Вологозарядка в основному здійснюється поливом борознами, рідше – напуском і ще рідше – дощуванням.

*Освіжаючі поливи* створюють сприятливий мікроклімат середовища перебування рослин. Такі поливи підвищують вміст вологи в листі, знижують температуру, сприяють фотосинтезу. Один освіжаючий полив шаром 7-9 мм здатний підвищити відносну вологість повітря усередині травостою на 15-20 % і знизити його температуру на 2-3 °С.

*Протизаморозкові поливи* призначені для боротьби зі шкідливими впливами заморозків на рослини. Попередній або проведений під час заморозків полив культур може вберегти їх від загибелі. Такі поливи підвищують теплопровідність ґрунту, що знижує глибину інверсії температури й підвищує температуру приґрунтового повітря. При обприскуванні рослин водою під час заморозків підвищується температура поверхні ґрунту й листя рослин, збільшується вологість ґрунту й повітря. *Підживлювальні поливи* дозволяють разом із поливною водою вносити на зрошувані поля й добрива. Такі поливи можна проводити за будь-яких способів зрошення.

*Промивні поливи* застосовуються для розчинення й виведення солей із верхніх шарів ґрунту за межі шару активного водообміну. На засолених землях перед поливом поле глибоко розорюють, боронують, вирівнюють і

розбивають на чеки за допомогою земляних валків. Промивну воду подають порціями з невеликими інтервалами. З метою розчинення солей першою порцією доводять ґрунт до найменшої вологості, наступними порціями забезпечують промивання ґрунту. Промивні поливи звичайно здійснюють у період, коли ґрунтові води встановлюються на мінімальному рівні (восени). Поливи здійснюють із інтервалом два-чотири дні при нормі – 100-150 мм.

Крім названих поливів, для очищення полів від бур'янів проводять «провокаційні» поливи, що стимулюють дружне проростання бур'янів із подальшим їх знищенням.

### **3.6.1 Визначення термінів поливу**

Термін поливу призначають, коли вологість активного шару ґрунтів досягне мінімальної межі (див. розд. 2.) Існує декілька способів і прийомів, за допомогою яких визначають, коли вологість ґрунту наближається до мінімальної межі й рослини починають відчувати нестачу вологи. Найчастіше застосовують метод визначення нижньої межі вологості за вологістю ґрунту. Але поряд із цим використовуються й інші способи призначення термінів поливу, наприклад, за фізіологічними показниками самої рослини: концентрації клітинного соку, «плачу» рослин, осмотичному тиску, ступеню відкриття продихів, за іншими ознаками.

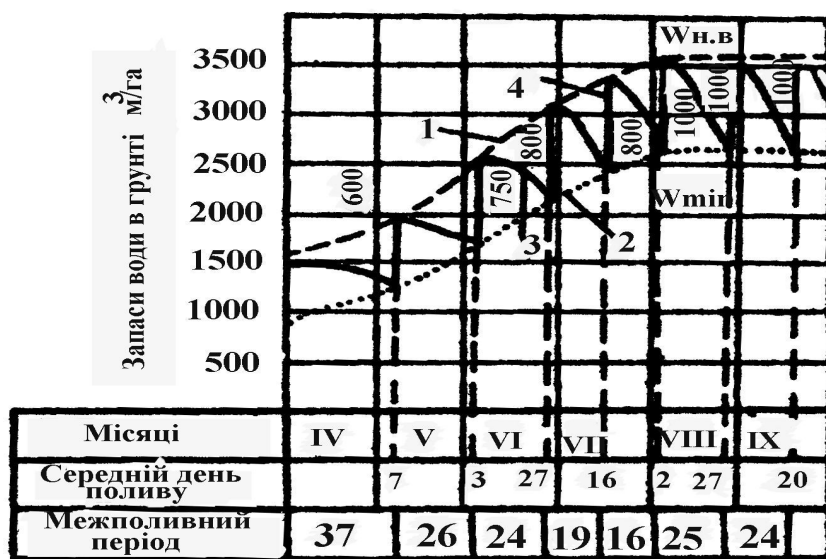
У сучасній меліоративній практиці використовується декілька методів розрахунку поливного режиму. Найбільше поширення одержали графоаналітичний метод О.М. Костякова, заснований на водно-балансових розрахунках, і графічний метод із використанням кривої дефіцитів вологості розрахункового шару ґрунту.

При розробці проектного режиму зрошення основним є графоаналітичний метод О.М. Костякова, заснований на водно-балансових розрахунках, що дозволяє узгодити терміни поливів із поливними нормами. Розрахунок здійснюється за декадами вегетаційного періоду. Вихідними даними є атмосферні опади, водоспоживання за декаду й потужність розрахункового шару ґрунту. Для кожної декади обчислюються запаси вологи, які відповідають верхній і нижній межах оптимальної вологості в розрахунковому шарі. Їх наносять на графік (рис. 3.15) і одержують дві криві, між якими укладений оптимальний для рослин діапазон ґрунтової вологи. При зрошенні вологість ґрунту не повинна виходити за межі цього діапазону. Потім на графіку відкладають запас вологи на початку вегетаційного періоду (приймають таким, що дорівнює 90...95 % НВ). З рівняння водного балансу обчислюють запаси вологи на кінець першої декади. Якщо вони перевищують нижню межу оптимальної вологості, то їх вважають за початкові й виконують аналогічний розрахунок для наступної декади тощо.

Прибутковими складовими водного балансу в такому випадку будуть атмосферні опади й приріст запасів вологи за рахунок збільшення

розрахункового шару ґрунту в розглянуту декаду; витратними – сумарне водоспоживання. Підживлення від ґрунтових вод при глибокому їх заляганні вважають таким, що дорівнює нулю.

У такий спосіб на графіку обґрунтовують криву зміни фактичних запасів вологи. Якщо в яку-небудь декаду ця крива перетне нижню межу оптимальної вологості, то призначається полив. Середній день поливу встановлюється на горизонтальній осі за точкою перетину кривих. Поливну норму приймають такою, щоб підвищити вологість розрахункового шару ґрунту до верхньої його оптимальної межі. Запаси вологи на кінець декади розраховуються, додаючи в прибуткову частину балансу величину поливної норми.



**Рис. 3.15 Графік визначення норм і термінів поливу культур:**

1 і 2 – криві максимального й мінімального запасів вологи в розрахунковому шарі ґрунту; 3 – крива зміни фактичного запасу вологи в розрахунковому шарі; 4 – поливні норми.

Метод О.М. Костякова можна використовувати й для розробки експлуатаційного режиму зрошення. Для цього необхідно мати оперативні дані про надходження й витрату вологи за якомога коротші проміжки часу (1-5 діб). Об'єм (або шар) опадів береться за даними метеостанцій і постів, а водоспоживання вимірюється у польових умовах (випарниками) або розраховується за формулами (що для коротких періодів збільшує похибки).

### 3.7 Графік гідромодуля і його укомплектовування.

Після розрахунку режиму зрошення (зрошувальної й поливної норм) окремих сільськогосподарських культур встановлюються режими зрошення полів сівозміни. При цьому враховуються потреби у воді кожної культури



сівозміни, ґрунтові й гідрогеологічні умови всіх полів, організація зрошувального господарства.

Режим зрошення в сівозміні зображують у вигляді *графіка гідромодуля*  $q$ . Гідромодуль  $q$  виражає необхідну витрату води в літрах за секунду на 1 га ( $\text{л}/(\text{с} * \text{га})$ ) посіву сільськогосподарських культур зрошуваної сівозміни. Він необхідний для гідравлічного розрахунку зрошувальної мережі і є сполучною ланкою водоспоживання сільськогосподарських культур сівозміни зі зрошувальною мережею, каналами й спорудами на ній.

Числові значення ординат гідромодуля визначаються за формулою

$$q = \square m / 86,4t, \quad (3.15)$$

де  $q$  – ордината гідромодуля, ( $\text{л}/(\text{с} * \text{га})$ );

$m$  – поливна норма,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

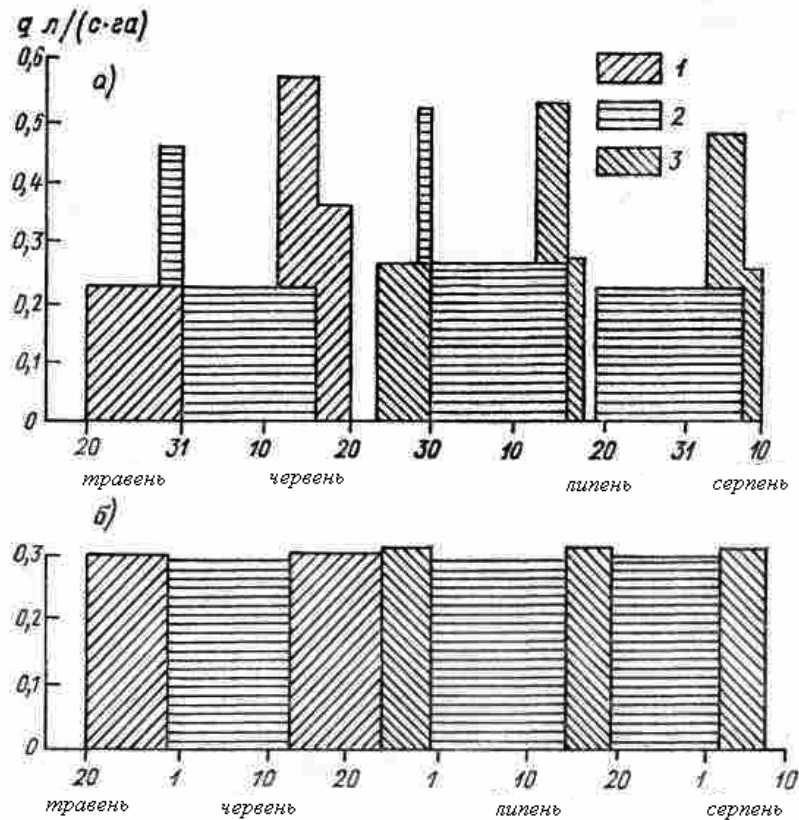
$t$  – рекомендована тривалість поливу, д.

Для визначення режиму зрошення сукупності культур підсумовують значення зрошувальних гідромодулів окремих культур за кожний день і зображують графічно, показуючи на осі абсцис календарний час зрошувального періоду, а на осі ординат – гідромодуль ( $q$  ( $\text{л}/(\text{с} * \text{га})$ )). Поливи культур на графіку мають вигляд прямокутників, висота яких відповідає гідромодулю, а ширина – тривалості поливу. На кожному прямокутнику записується порядковий номер поливу і наноситься штрихуванням умовний знак поливної культури (рис. 3.16). На графік наносяться всі культури, а якщо поливи збігаються в часі, підсумовуються і надбудовуються прямокутники, - таким чином отримується *східчатий неукомплектований графік гідромодуля* всіх культур сівозміни. Витрату води для поливу певної площі знаходять за графіком множенням значення ординати гідромодуля на площу зрошення.

Однак неукомплектованим графіком гідромодуля важко користуватися для визначення термінів і норм поливів у зв'язку з нерівномірними витратами води на зрошення. Зрошувальні канали й споруди у цьому разі довелося б будувати з розрахунком на пропуск короточасних максимальних витрат води, що призвело б до збільшення втрат на фільтрацію, ускладнення регулювання водозабірних і пропускних споруд, до збільшення вартості будівництва й експлуатації системи.

Розрахунковий гідромодуль визначається при укомплектуванні (вирівнюванні) графіка гідромодуля. Для ліквідації піків і заповнення провалів на графіку пересувають терміни поливів сільськогосподарських культур і скорочують або подовжують поливні періоди. При цьому повинні зберігатись норми, техніка й граничні терміни поливу, режим джерела зрошення і план сільськогосподарських робіт.





**Рис. 3.16 Графіки гідромодуля:**

*а* – неукomплектований; *б* – укomплектований; 1 – озима пшениця; 2 – кукурудза на зерно; 3 – люцерна

У результаті укomплектування графіка гідромодуля підвищується зрошувальна здатність джерела зрошення, знижуються розрахункові максимальні витрати води зрошувальної мережі (зменшуються її розміри, поліпшується робота зрошення в часі).

Слід зазначити, що зрошувальні норми й поливний режим у край різноманітні не тільки для різних регіонів зрошення, але й для тієї самої ділянки залежно від погодних умов конкретного року, культури, термінів сівби, запасів вологи до його початку. Зрошувальний режим уточнюють щороку, з огляду на зміну ґрунту під впливом зрошення, поліпшення прийомів агротехніки, кількості внесених добрив і підвищення врожайності.

Дотримання розрахункового гідромодуля, плану водокористування, жорсткого режиму промивних поливів на засоленних землях, комплексу агротехнічних заходів і підвищення коефіцієнта корисної дії системи сприятиме утворенню сталого водного балансу зрошуваної території та запобіганню несприятливих наслідків зрошення.

*Експлуатаційні режими зрошення визначають потребу рослин у воді в кожен конкретний рік чи період з урахуванням господарських і природних умов цього року. Розрахунковий режим зрошення розробляється для проектування зрошувальної мережі й пов'язаних із нею споруд. Від обраного*

режиму зрошення залежать об'єми води і терміни їх подавання на поля, витрати й розміри каналів, обсяги будівельних робіт тощо.

Потреба рослин у воді в різні роки різна, тому розрахунковий режим зрошення вибрати важко. Його визначають для умов так званого розрахункового року, природні й господарські умови якого є вихідними даними для проектування.

Однак економічно не вигідно вибирати розрахунковий рік із такими даними, щоб була 100 -відсоткова забезпеченість поливною водою будь-якого року в період проектного терміну служби зрошувальної системи. Відсоток забезпеченості розрахункового року є важливою характеристикою розрахункового режиму зрошення. Чим вищий цей відсоток, тим більша кількість років буде забезпечена необхідною кількістю поливної води, але буде потрібна велика пропускна спроможність каналів, більш дорогі споруди на них і, врешті-решт, великі витрати коштів на будівництво й експлуатацію.

Для економічного обґрунтування вибору року розрахункової забезпеченості проводять аналіз залежностей розрахункових ординат графіка водоподавання, врожайності сільськогосподарських культур, капітальних вкладів від метеорологічних умов року. При цьому основними показниками є економічний ефект від впровадження зрошення і терміни окупності будівництва зрошувальної системи.

Як показала практика, найбільш обґрунтованими є метеорологічні дані року 75 - відсоткової забезпеченості.

### **Запитання для самоконтролю**

- Який вплив має зрошення на довкілля, ґрунти й урожай рослин?
- Дайте визначення зрошувальної норми.
- Що таке зрошувальна мережа? Назвіть її основні елементи.
- Що таке режим зрошення?
- Чим відрізняються між собою різні типи режиму зрошення?
- Схарактеризуйте основні способи зрошення.
- Дайте визначення поверхневого способу поливу.
- Дощування як спосіб поливу, його характеристики.
- Крапельне зрошення, його переваги та недоліки.
- Яка різниця між поливною та зрошувальною нормами?
- Назвіть основні вимоги до водного режиму ґрунту.
- Назвіть найбільш поширені види поливів, їх особливості, умови застосування.
- Назвіть критичні фази розвитку сільськогосподарських рослин, які потребують проведення поливів.
- За якими методами визначають терміни поливів?
- Що являє собою графік гідромодуля? Назвіть способи його укомплектування.

## 4. МЕЛІОРАТИВНО-ГІДРОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ НА ОСУШУВАНИХ СИСТЕМАХ

### 4.1 Види заболочування і перезволоження ґрунтів

Основна причина надлишкового зволоження ґрунту – значні опади, які перевищують витрату вологи на сумарне випаровування, і відсутність швидкого відведення води із ґрунту. За цих умов погіршуються водний, повітряний і тепловий режими ґрунту, а це призводить до нестачі кисню для живлення рослин і розкладання органічної речовини.

Щоб правильно вибрати найбільш ефективний спосіб осушення болота або заболоченого масиву, треба точно встановити причину його походження або причину заболочування.

До *причин заболочування* відносять: підзолютворювальний процес; дерновий процес ґрунтоутворення; заростання водойм; вихід ґрунтових вод на поверхню землі; розлив річок або приплив води з вищерозташованих водозборів.

Зовнішньою ознакою земель, для нормального використання яких необхідні осушувальні меліорації, є надлишкова зволоженість кореневмісного шару. Найголовніші види надлишкового зволоження земель: мінеральні постійно або тимчасово надлишково зволожені землі, заболочені землі й болота.

*Надлишково зволожені мінеральні землі* – це території, на яких широко розвинений дерново-підзолистий процес ґрунтоутворення і які піддаються періодичному перезволоженню (навесні, восени й улітку в період затяжних дощів), у результаті чого затримуються терміни проведення польових робіт, спостерігаються зрідженість сходів і вимокання посівів, що в цілому призводить до зниження або повної загибелі врожаю.

*Заболоченими* називаються землі, надлишкове зволоження яких зумовило розвиток на них вологолюбної рослинності й початок процесу торфоутворення (шар торфу на поверхні менший за 30 см).

Під *болотом* розуміють частину земної поверхні, надлишкове зволоження на якій призвело до розвитку вологолюбної рослинності й нагромадження на поверхні шару торфу товщиною більше, ніж 35 см.

Утворення й розвиток болотних масивів - це складний процес, який характеризується зростанням, відмиранням і розкладанням відмерлої рослинності в умовах надмірно зволених ґрунтів. У цьому процесі водний режим болотного масиву і прилеглих до нього територій відіграє дуже важливу роль як у початкових стадіях заболочення суходолу чи водойми, так і в подальшому розвитку вже створеного болота.

Зміни водного режиму супроводжуються змінами умов існування рослин, у зв'язку з чим змінюється видовий склад і структура болотних фітоценозів, швидкість приросту й розкладання рослинної маси.

У результаті цих взаємопов'язаних процесів починається розвиток болота, який зовні виявляється в поступовому нагромадженні торфу, збільшенні товщини торфового покладу та піднятті поверхні болота над початковою поверхнею ґрунту або початковим рівнем водойми (при заболоченні водойм), а також у збільшенні розмірів болота в плані й поширенні заболочування на суміжні з болотом мінеральні землі або незаболочені ділянки водойми. Разом із цим відбувається послідовна зміна угруповань рослин на поверхні болота, зміна гідрогеологічних умов, водного режиму болота та рельєфу поверхні болота. Інколи розвивається особлива гідрографічна мережа на основі розвитку ерозійних процесів, які супроводжуються утворенням на болотних масивах болотних рівчаків, річок та озер.

Характерною рисою розвитку болотних масивів є певна послідовність зміни рослинності на території болотного масиву, яка полягає в тому, що евтрофну болотну рослинність, властиву раннім стадіям, поступово замінює мезотрофна, а потім оліготрофна, характерні для пізніших стадій розвитку масивів.

На ранніх стадіях, поки потужність торфових покладів мала, болотні води, як правило, багатші на мінеральні солі, ніж на пізніших стадіях розвитку масивів. Із потовщенням торфового шару і підняттям поверхні болота над навколишньою поверхнею приплив ґрунтових і поверхнево-стічних вод на територію болота зменшується, роль ґрунтового живлення, відповідно, знижується, а роль атмосферного живлення у водному балансі болота збільшується. Внаслідок цього у субстраті зменшується кількість поживних речовин, що призводить до витіснення евтрофної і мезотрофної рослинності оліготрофною.

Ця послідовність у зміні рослинності зумовлює таку послідовність у нашаруванні відповідних їй основних трьох типів торфів – низинного (евтрофного), перехідного (мезотрофного), верхового (оліготрофного).

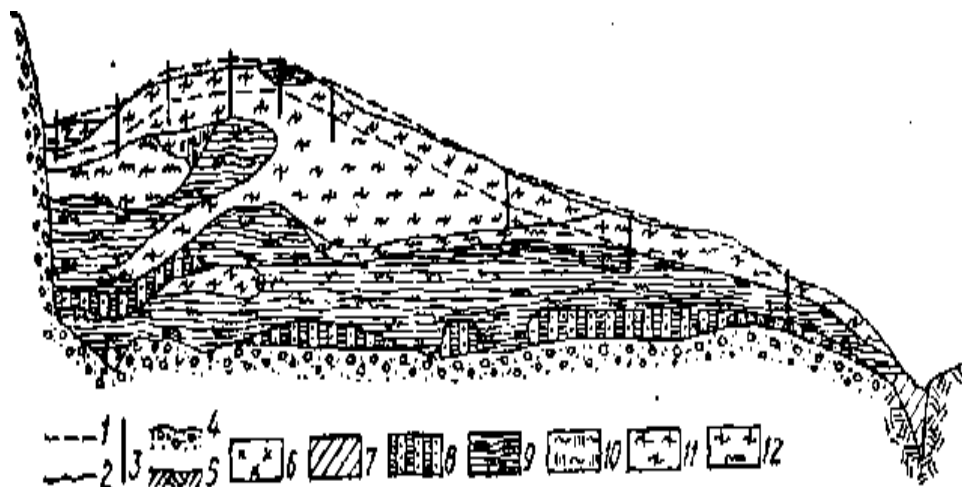
Нижні горизонти покладів, утворені низинними торфами, є відкладами евтрофної рослинності. Як тільки поверхня масиву опиниться в умовах збіднілого живлення, торф починає відкладатись мезотрофними фітоценозами, які створюють різні види так званого перехідного торфу (рис.4.1).

Подальше підвищення поверхні масиву супроводжується тим, що оліготрофні фітоценози створюють відповідні їм види верхового торфу.

Залежно від характеру заболочування, водного живлення, рослинного покриву й властивостей торфу, болота поділяють на низинні, верхові й перехідні.

*Низинні болота* утворюються в знижених елементах рельєфу (у заплавах річок, озер тощо), живляться ґрунтовими водами, багатими на мінеральні солі, опадами й поверхневим стоком. Їх рослинний покрив представлений осоками, очеретами, болотним різнотрав'ям, зеленими

гіпновими мохами тощо. На болотах ростуть вільха чорна, береза, верба, малина, порічки. Потужність торфовищ сягає 10 м. Торф буває очеретяно-осоковий, осоково-луговий із домішками мохів і деревної рослинності.



**Рис. 4.1** Будова торфового покладу, який пройшов тільки оліготрофну фазу розвитку:

1 – профілі максимальних і мінімальних горизонтів ґрунтових вод; 2 – поверхня болота; 3 – місця, де знаходяться водомірні свердловини; 4 – дно торфовища з піщаних ґрунтів; 5 – дно торфовища з глинистих ґрунтів; 6 – низинний торф хвощовий; 7 – низинний торф осоковий; 8 – верховий торф сосново-пухівковий; 9 – верховий торф пухівково-сфагновий; 10 – верховий торф хвощово-сфагновий; 11 – верховий торф моховий; 12 – верховий торф моховий сфагновий.

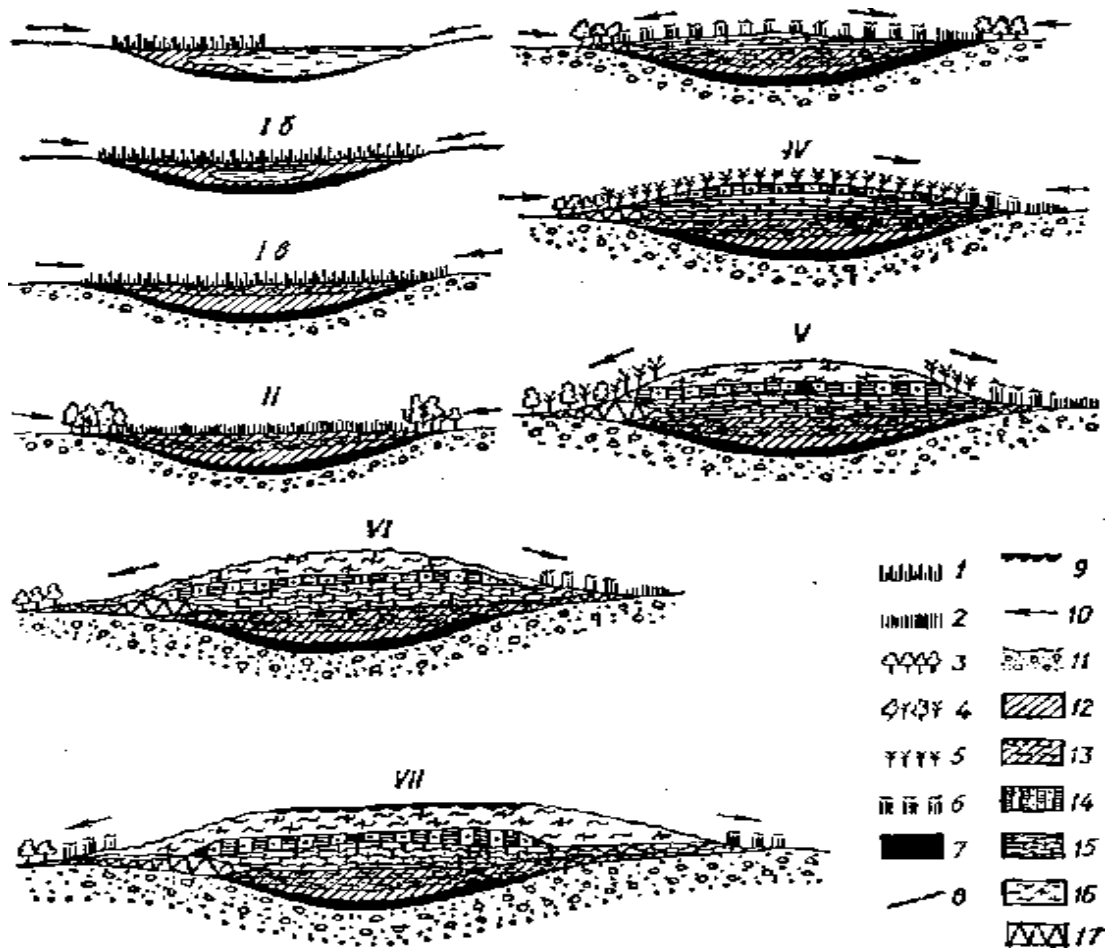
Зольність його складає 15-30 % від маси сухої речовини. Реакція слабокисла, нейтральна, іноді слаболужна,  $pH = 6-8$ .

Торфовища низинних боліт, багаті на зольні елементи, після осушення стають цінними сільськогосподарськими угіддями. Торф їх можна вносити і як органічне добриво на зрошувані ділянки. Він містить до 3,5 % азоту, 0,5...1,7 % – фосфору, 0,1...0,5 % – калію.

*Верхові болота* утворюються на вододілах, живляться опадами й талими водами (рис.4.2). Рослинність їх звичайно представлена сфагновими мохами, журавлиною, вересом, багном, березою низькою й пухнастою, сосною болотною, осокою ниткоподібною, пухівкою. Торф має низьку зольність – не більше ніж 3-5 % маси сухої речовини, відрізняється кислою реакцією ( $pH=3,5-5$ ). Тому введені після осушення в сільськогосподарське використання верхові болота мають потребу в органічних і мінеральних добривах. Для зниження кислотності болотні ґрунти вапнують. Торф верхових боліт використовують як підстилку для сільськогосподарських

тварин і для виготовлення торф'яних компостів у суміші із гноєм і мінеральними добривами.

*Перехідні болота* займають проміжне положення між низинними й верховими (рис.4.2).



**Рис. 4.2** *Схема центральнооліготрофного розвитку болотного масиву:* Ia, Ib, Iв – стадії низинної фази розвитку; II – стадія перехідної фази розвитку; III; IV; V; VI; VII – стадії верхової фази розвитку; I – осокові, осоково-очеретяні, осоково-гінкгові мікроландшафти низинної фази розвитку болота; 2 – сфагново-осокові мікроландшафти низинної фази розвитку болота; 3 – лісові мікроландшафти низинної фази; 4 – лісові мікроландшафти перехідної фази; 5 – сосново-сфагнові й сосново-чагарникові мікроландшафти верхової фази розвитку болота; 6 – сфагново-пухівкові мікроландшафти верхової фази розвитку; 7 — сапропелеві відклади; 8 – пасмово-мочажинні мікроландшафти верхової фази; 9 – озерцево-мочажинний регресивний комплекс верхової фази розвитку; 10 – напрям стікання вод; 11 – дно торфовища з піщаних ґрунтів; 12 – низинний торф осоковий; 13 – низинний торф деревно-трав'яний; 14 – верховий торф пухівково-сфагновий; 15 – верховий торф комплексний; 16 – верховий торф мохової групи; 17 – низинний торф деревно-осоковий.

#### 4.1.1 Водний баланс осушуваного масиву

Кількісна характеристика водного живлення – *водний баланс*. Для осушуваного масиву він виражається рівнянням:

$$(x + Y_{нов} + Y_{зр} + Y_{нап} + C) - (E + Y'_{нов} + Y'_{зр}) = \Delta W, \quad (4.1)$$

де  $x$  – атмосферні опади, мм;

$Y_{нов} + Y_{зр} + Y_{нап}$  – приплив на осушуваний масив поверхневих, ґрунтових і напірних вод;

$C$  – конденсація вологи на поверхні й у ґрунті;

$E$  – сумарне випаровування, мм;

$Y'_{нов}$  – поверхневий стік з масиву, мм;

$Y'_{зр}$  – відтік ґрунтових вод за межі масиву, мм;

$\Delta W$  – зміни поверхневих, ґрунтових і напірних вод на осушуваному масиві за розрахунковий період.

Для багаторічного періоду значення  $\Delta W$  дорівнює нулю, тобто надходження вологи дорівнює її витраті. Залежно від типу водного живлення в рівнянні балансу можуть бути відсутні ті або інші складові. Всі методи осушення спрямовані на збільшення витратних елементів водного балансу й зменшення прибуткових.

#### 4.2 Гідрологічне обґрунтування меліорації і способів осушення земель

*Об'єкти осушення* класифікують за типами водного живлення, типами боліт і топологічними ознаками. Заболоченість визначається атмосферним, ґрунтовим і ґрунтово-напірним, наливним, інфільтраційним і змішаним типами водного живлення.

*Атмосферний тип* водного живлення наявний на вододілах і пологих схилах з водонепроникними ґрунтами й підґрунтовими горизонтами. Води атмосферних опадів не можуть вільно проникати крізь водонепроникні ґрунти й накопичуються на їх поверхні, створюючи надлишкове зволоження. Завданням осушення в таких випадках є застосування методів прискорення стоку поверхневих і ґрунтових вод.

*Ґрунтове й ґрунтово-напірне* водне живлення характерне для знижених елементів рельєфу, де ґрунтові води залягають близько від поверхні ґрунту або виходять на саму поверхню. При напірному живленні можуть бути два випадки: 1) коли напірні ґрунтові води надходять на заплаву з вище розташованого водозбору в бічному напрямку; 2) коли напірні води спрямовані знизу вгору на самій заплаві. Завдання осушення таких об'єктів зводиться до зниження рівня ґрунтових вод і зниження їх напірності.

*Намивний тип* водного живлення розповсюджений головним чином у заплавах річок. Намивні води затоплюють заплаву або з боку річки під час паводків (алювіальний тип), або з боку водозбору за рахунок делювіальних потоків (делювіальний тип). Завданням осушення в першому випадку є впорядкування річки шляхом її регулювання, а в другому – шляхом побудови нагірних захисних каналів з боку водозбору.

*Інфільтраційний тип* водного живлення розповсюджений переважно довкола великих водоймищ, а також інших водойм і водотоків, де горизонти води перебувають у підпорі й спостерігається підтоплення прилеглих територій. Для боротьби з підтопленням застосовують спеціальні дренажі й ловильні канали.

*Змішане водне живлення* відбувається в основному в заплавах річок. У прирусловій частині заплави спостерігається намивне алювіальне й ґрунтове живлення, у центральній – ґрунтове й атмосферне, і в притерасній – ґрунтово-напірне й намивне делювіальне. У верхній частині річкової долини переважає ґрунтово-напірне, а в нижній – намивне водне живлення.

Особливе значення має оцінка шляхів надходження надлишкових вод на осушуваний масив. Приплив цих вод на масив, який розглядається, може відбуватись:

- одночасно по всій площі, як, наприклад, за рахунок надлишкових опадів або вклинювання на поверхню напірних ґрунтових вод, що мають глибоке залягання водоупору (повсюдний);
- з одного боку (периферійний).

При *повсюдному заболочуванні* відведення надлишкових вод відбувається з усієї площі масиву за допомогою водозбірної осушувальної мережі каналів або дрен.

При *периферійному бічному заболочуванні* для осушення досить виконати тільки граничну захисну лінію каналів для перехоплення нагірних або річкових вод, які підтоплюють масив із нижньої частини (за допомогою обвалування з механічним підйманням води).

При об'єднанні *повсюдного й периферійного заболочування* осушувальна система складається як із постійної мережі, так і з периферійних каналів.

Для *гідрологічного обґрунтування* методики осушення необхідно здійснити:

- розрахунок водного балансу, який визначить щомісячні надлишки й дефіцити зволоження;
- визначення припливу нагірних поверхневих і ґрунтових вод;
- оцінку затоплення або підтоплення річковими водами.

Особливо важливий аналіз причин заболочування в районах нестійкого зволоження, де для осушення часто досить застосувати захисні канали, а використання постійної мережі каналів може призвести до пересушування



ґрунтів. У табл.4.1 більш докладно вказані основні випадки заболочення і відповідні способи осушення.

#### **4.3 Методи та способи осушення. Осушувальні системи та їх характеристика**

Завдання осушувальних меліорацій полягає у видаленні надлишку води з надмірно зволжених, заболочених земель і створенні на них умов, необхідних для забезпечення високої продуктивності сільськогосподарського виробництва.

Крім регулювання водного режиму, для досягнення високих і сталих урожаїв необхідні також певні повітряні, теплові та живильні режими для рослин. Отже, в осушувальних меліораціях треба поєднувати гідротехнічні методи з агротехнічними, які зумовлюють правильну культуру осушуваних ґрунтів.

У комплексі всіх заходів, що забезпечують успіх осушувальних меліорацій, найважливішу роль відіграє нормоване регулювання водного режиму відповідно до потреб сільськогосподарських культур, оскільки від цього залежить створення потрібних умов аерації ґрунту.

У меліоративній практиці вкоренилися два терміни: *метод осушення й спосіб осушення*. *Методи осушення* визначають основні принципи впливу на водний режим земель із метою усунення причин їх надлишкового зволоження за різних типів водного живлення. Застосовуються такі основні методи осушення:

- Прискорення стоку поверхневих і ґрунтових вод на об'єктах атмосферного водного живлення на вододілах і пологих схилах із важкими ґрунтами або підґрунтями.
- Перехоплювання поверхневих і ґрунтових вод, які надходять на осушувану територію з боку водозбору або з боку річки. Це, в основному, об'єкти наливного й інфільтраційного типів водного живлення.
- Зниження рівня ґрунтових вод на об'єктах в основному ґрунтового або ґрунтово-напірного типів водного живлення.
- Метод двостороннього регулювання ґрунтової вологи. Це метод меліорації заболочених земель, при якому здійснюються осушення й зволоження ґрунту.

Таблиця – Причини заболочення і методи осушення

В И Д И   З А Б О Л О Ч Е Н Н Я						
А.    Заболочення повсюдне				Б.    Заболочення периферійне		
Мінеральні землі			Болота	Нагірними водами		Річковими водами
Поверхневими водами (на глинистому грунті)	Ґрунтовими водами (при легкому ґрунті і близькому підґрунтовому водо упорі)	Ґрунтовими (напірними) водами (при глибокому водоупорі)		Поверхневим стоком	Нагірною верховодкою	
М Е Т О Д И   О С У Ш Е Н Н Я						
Систематичне осушення				Перехват периферійних вод		
Відвід поверхневих вод відкритими каналами або закритими збирачами	Зниження рівня ґрунтових вод		Дренаж для с.г. осушення або відкриті канали при торфорозробках	Нагірними каналами	Ловчими каналами	Прирічковими магістралями іноді в поєднанні з обвалуванням
	Дренаж або відкриті канали, проведені до водоупору	Інтенсивний дренаж				

*Способи осушення* – це технічні й агротехнічні прийоми й засоби, за допомогою яких здійснюється той або інший метод осушення. Способи осушення, залежно від типу водного живлення, ґрунтових, геологічних умов і господарського використання осушуваних земель, рекомендуються такі:

- Осушення окремими каналами й систематичною відкритою мережею на водопроникних мінеральних ґрунтах (піски, супіски, легкі суглинки).
- Осушення відкритими каналами й закритим горизонтальним дренажем у сполученні з агро меліоративними заходами на слабоводопроникних мінеральних ґрунтах (важкі суглинки, глини).
- Торфовища малопотужні, які підстилаються слабопроникними ґрунтами, осушуються під ріллю й пасовища закритим дренажем. Торфовища потужні (більші за 1,5-2 м) попередньо осушуються відкритими каналами й кротовим дренажем, а потім, після осідання торфу, на них встановлюється закритий матеріальний дренаж.
- Торфовища безнапірного ґрунтового живлення, що підстилаються водопроникними ґрунтами, при використанні під ріллю й пасовища осушуються відкритими каналами в сполученні з розрідженим закритим дренажем.
- На об'єктах намівного водного живлення (алювіального й делювіального типів) застосовується регулювання річки й будівництво нагірно-ловильних і головних каналів. При нагінних водах застосовується польдерний спосіб осушення.
- Для боротьби з підтопленням при інфільтраційному живленні застосовують береговий, кільцевий і головний дренажі.
- При ґрунтово-напірному водному живленні застосовується вертикальний дренаж за відповідних гідрогеологічних умов.

*Осушувальна система* – це територія з комплексом інженерних споруд і пристроїв, що забезпечують видалення надлишкових вод і створення сприятливого водного режиму ґрунту для вирощування високих і гарантованих урожаїв сільськогосподарських культур.

Меліоративні системи поділяються на такі типи:

*1. За характером впливу на водний режим ґрунтів:*

- *осушувальні системи одnobічної дії*, які забезпечують тільки відведення надлишкової вологи з кореневмісного шару ґрунту;
- *осушувальні системи з попереднім шлюзуванням*, які забезпечують відведення надлишкової вологи й часткове затримання власного стоку в каналах для вповільнення або припинення зниження рівня ґрунтових вод;
- *осушувально-зволожувальні системи двосторонньої дії*, які забезпечують створення й підтримку протягом усього вегетаційного періоду в кореневмісному шарі ґрунту оптимального водного режиму

шляхом своєчасного відведення з нього надлишкової вологи й додаткового подавання в посушливі періоди вегетації води, необхідної для зволоження цього шару.

2 *За способом відведення надлишкових вод з осушуваної території у водоприймач:*

- *самопливні*, коли вода, що збирається осушувальною мережею, скидається у водоприймач самопливом;
- *з машинним підійманням води*, коли з осушувальної мережі у водоприймач вода перекачується насосами;
- *змішані*, коли в періоди паводків вода перекачується насосами, а в інший час скидається самопливом.

3. *За конструкцією:*

- *відкриті* системи, у яких уся осушувальна мережа від дрібної до великої виконується у вигляді відкритих каналів;
- *закриті* системи, у яких уся осушувальна мережа виконується із закритих дрен і колекторів;
- *комбіновані* системи, у яких більш дрібна осушувальна мережа виконується закритою, а велика – відкритою.

Сучасні меліоративні системи за характером впливу на водний режим ґрунтів проектують, як правило, осушувально-зволожувальними двосторонньої дії, за конструкцією - комбінованими.

В Україні при осушенні річкових заплав і території, які прилягають до водоймищ і озер, останніми роками все частіше проектують польдерні осушувальні системи з машинним або змішаним способом відведення надлишкових вод.

*Основні елементи осушувальних систем*

До складу меліоративних систем на осушуваних землях входять такі основні елементи (рис. 4.3):

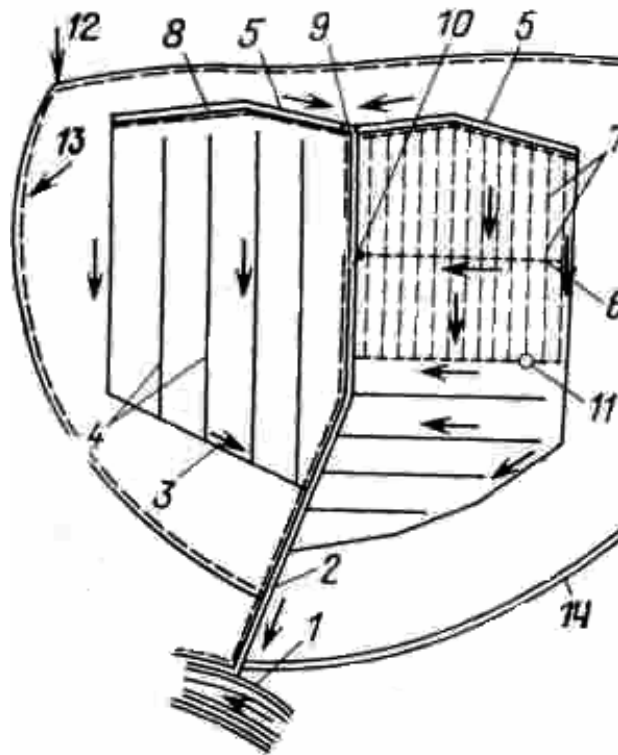
1. Водоприймач (річка, озеро тощо) – служить для приймання води з осушуваної території.

2. Осушувальна мережа, яка за призначенням поділяється на регульовальну, захисну й провідну.

*Регульовальна* осушувальна мережа (відкриті осушувачі й збирачі, горизонтальні й вертикальні дрени тощо) призначена для відведення з кореневмісного шару ґрунту надлишкових вод і підтримання в ньому оптимального водно-повітряного режиму.

*Захисна* осушувальна мережа (нагірні й ловильні канави, ловильні горизонтальні й вертикальні дрени тощо) призначена для захисту осушуваної території від припливу надлишкових поверхневих і ґрунтових сторонніх вод.

*Провідна* осушувальна мережа (магістральні канали, відкриті й закриті колектори тощо) збирає надлишкову воду з регульовальної й захисної мереж і доставляє її за межі осушуваної території у водоприймач.



**Рис. 4.3 Елементи осушувальної системи:**

1 – річка-водоприймач; 2 – магістральний канал; 3 – відкритий колектор; 4 – відкриті осушники; 5 – ловильний канал; 6 – закритий колектор; 7 – дрени; 8 – польова дорога; 9 – труба-переїзд; 10 – гирлова споруда; 11 – оглядовий колодязь; 12 – нагірний канал; 13 – ловильний канал; 14 – дамби-вали.

3. Зволожувальна, або зрошувальна, це мережа (зрошувальні канали й трубопроводи тощо), що забезпечує подавання води в кореневмісний шар ґрунту в посушливі періоди. Зрошувальна мережа може обладнуватися дощувальними машинами.

4. Гідротехнічні споруди на осушувальній і зволожувальній мережі (шлюзи, перепади, швидкоотоки, насосні станції, колодязі тощо) призначені для керування потоком води в каналах і трубопроводах. Водоймища проектується для регулювання стоку й забезпечення зволоження осушуваних земель.

5. Дамби-вали – забезпечують захист осушуваних земель від затоплення з боку водоймищ, озер або річок-водоприймачів.

6. Дорожня мережа (дороги, мости, переїзди тощо) – служить для проїзду транспорту й сільськогосподарських машин в межах осушувальної системи.

7. Природоохоронні споруди й пристрої – застосовуються для охорони ґрунтового покриву, тваринного й рослинного світу, рекреаційного й іншого

видів несільськогосподарського використання земель; охоплюють: лісосмуги, охоронні зони, пляжі, живильні й скидні канали для водойм, пішохідні містки тощо.

8. Експлуатаційні споруди й пристрої ( гідрометричні мости, будівлі, засоби зв'язку, телемеханіки й автоматики тощо) – забезпечують контроль і керування водним режимом ґрунту, а також підтримання меліоративної системи в справному стані.

Осушувальна система може містити всі названі елементи або лише деякі з них за потреби.

#### **4.3.1 Захисна та регулювальна мережа**

Застосування всіх чи лише окремих елементів захисної мережі зумовлене причинами заболочування ґрунтів. До елементів *захисної* мережі відносять захисні *дамби-вали*, а також *нагірні й ловильні канали*.

У заплавах річок для захисту територій від паводкових вод будують дамби-вали з придамбовими дренами вздовж берегів річки (рис. 4.3). Одночасно поглиблюють і вирівнюють русла річок, які забезпечують пропуск паводкових вод. Річки, що перетинають низину, також обваловують, а стік з окремих ділянок спрямовують за допомогою дюкерів до магістрального каналу системи.

Для захисту обвалованої території від поверхневих вод, що стікають зі схилів річкової долини, на бокових межах заплав обладнують нагірні канали, а якщо є бічний приплив ґрунтових вод, – ловильні канали (рис. 4.3).

У межах самої обвалованої території споруджуються регулювальні та провідну мережі осушувальної системи.

Основні принципи дії регулювальної мережі. Сільськогосподарський дренаж призначений для створення й регулювання водного та повітряного режимів осушуваної площі. Якщо надлишковими є поверхневі води, дренаж регулює води поверхневого стоку, не даючи їм можливості затримуватися на осушуваній площі довше, ніж це допустимо. Якщо надлишковими є ґрунтові води, дренаж мусить відводити зайву воду з ґрунтів, регулювати рівень ґрунтових вод. Дуже часто дренаж регулює одночасно стік поверхневих і ґрунтових вод.

Основна частина дренажної чи осушувальної системи, яка виконує перелічені вище функції, називається *регулювальною частиною системи і складається з відкритих або закритих горизонтальних дренажів*, розміщених на осушуваній території (здебільшого паралельно) на певній відстані одна від одної (рис. 4.4). Така система являє собою систематичний горизонтальний дренаж, її інакше називають осушувальною регулювальною мережею.

Регулювальна мережа може бути закрита, виконана у вигляді дренажів або закритих збірників, розрахованих на багаторічну службу. Відкрита мережа має вигляд каналів, які щороку нарізають і засипають, щоб не перешкоджати

механізації сільськогосподарських робіт. Розміри дрен або каналів, а також відстані між ними повинні бути такими, щоб регулювальна мережа могла підтримувати заданий водний режим на тій земельній площі, яку вона обслуговує. Вимоги до цього режиму визначаються *нормою осушення*, яка являє собою необхідну глибину ґрунтових вод для тієї чи іншої культури і яку потрібно підтримувати на осушувальній площі в окремі фази розвитку рослин. На практиці для розрахунку осушувальних систем використовують середні значення норми осушення, отримані дослідним і розрахунковим шляхом. У табл. 4.2 наведені дані про норми осушення для різних сільськогосподарських культур.

Слід зазначити, що норми осушення змінюються у часі, тому й рівень ґрунтових вод на осушуваних площах мусить бути змінним.

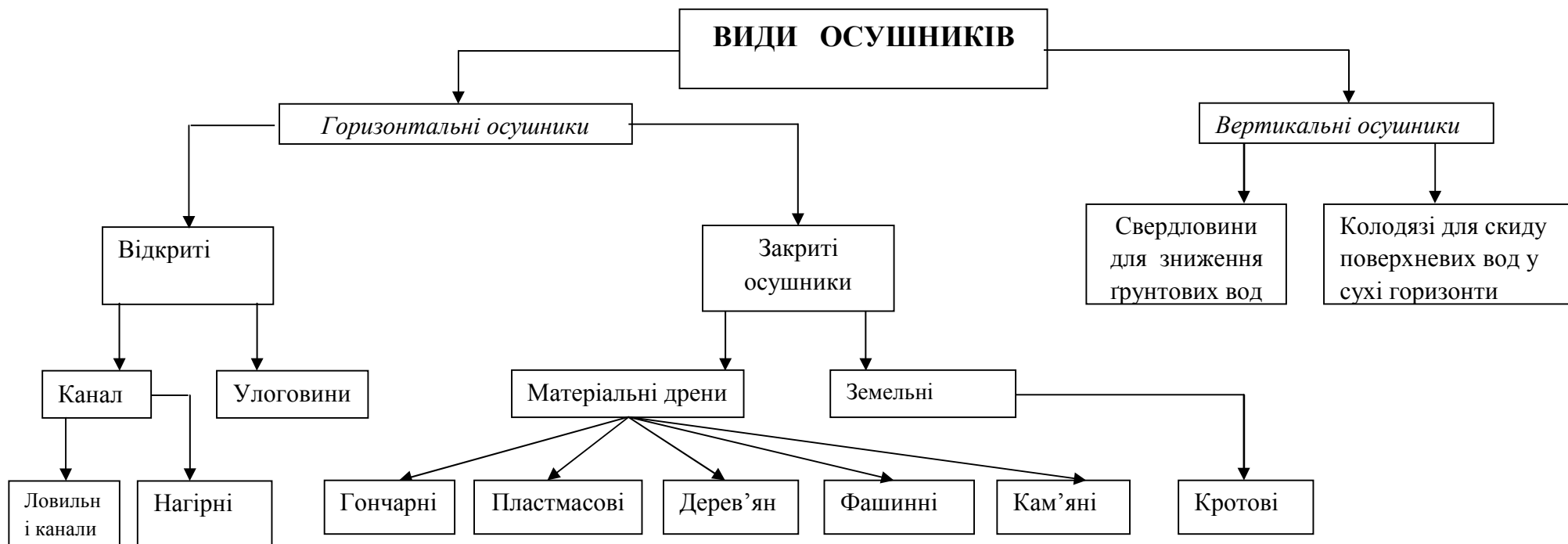
Таблиця 4.2 Норми осушення для різних сільськогосподарських культур  
(дані О.М. Костякова)

Культури	Середня норма осушення за період, см	
	вегетаційний	весняний і передпосівний
зернові	70-80	30-40
технічні	80-100	60-70
овочеві	70-80	50-60
трави	50-60	30-40

Для визначення режиму дії регулювальної мережі має значення також допустима тривалість затоплення земель. На основі спостережень встановлено, що тривалість затоплення, яка спричиняє загибель рослин, становить: для злакових – 20-25, для вівса – 10-11, для озимого жита – 8-10, для ячменю – 5-8 діб; затоплення сільськогосподарських культур у вегетаційний період не може перевищувати: для зернових – 0,3-0,5, для овочевих – 0,20-0,25, для пасовищ – 0,75-0,80, для сінокосів – 1,0-1,5 доби.

Складні умови роботи регулювальної мережі, які змінюються в часі, треба враховувати під час обладнання та експлуатації цієї мережі. Змінні умови роботи мережі забезпечуються при тимчасовій відкритій мережі канав посиленням або ослабленням її, тобто нарізуванням додаткових або розрівнюванням зайвих каналів-борозен, а при постійно закритій мережі – будівництвом на ній спеціальних регулювальних споруд – шлюзів, за допомогою яких у різні періоди можна змінювати інтенсивність дії дрен.

Розміщення і розміри регулювальної мережі – відстані і глибини – повинні бути такими, щоб вона утворювала й підтримувала на осушувальній площі потрібний водний, повітряний і живильний режими ґрунту і не перешкоджала механізації сільськогосподарських робіт.





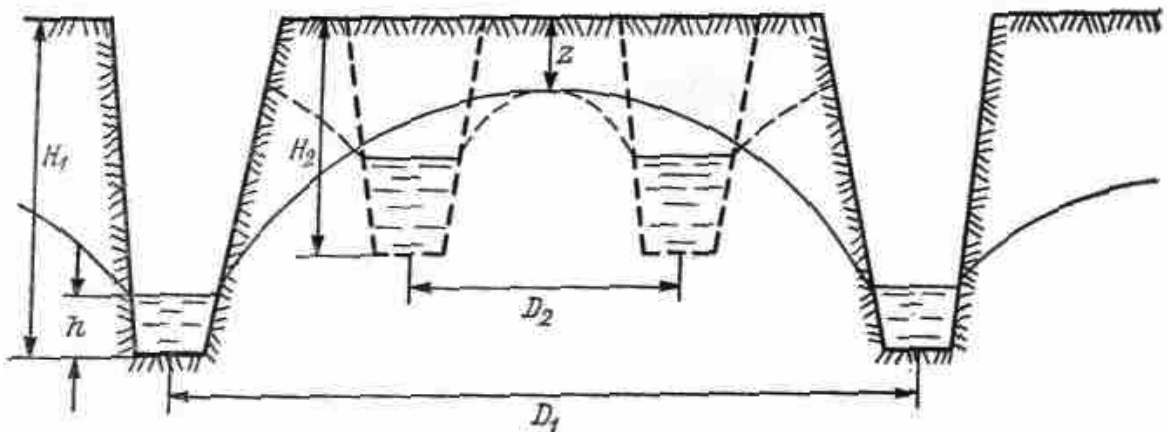
Регулювальні канали або дрени треба розміщувати в напрямі горизонталей поверхні осушуваної місцевості для вловлювання поверхневих вод або в напрямі гідроізогіпс ґрунтових вод – для перехоплювання останніх. Коли відстань між регулювальними елементами мережі мусить бути меншою за вказані величини, відкриті канали будуть колекторами, а для осушення використовуватимуть або тимчасові канали-борозни або закриті збірники-дрени. Якщо відстані між дренами повинні бути дуже малими, доцільно, крім відкритих колекторів, мати ще й закриті колектори.

В усіх наведених прикладах для боротьби з надмірним зволоженням використовують *систематичну* регулювальну мережу, яка доцільна для забезпечення умов рівномірного живлення ґрунтових вод і більш-менш однакової геологічної будови об'єкта.

Якщо ж живлення ґрунтовими водами заболоченої площі зумовлене місцевим припливом їх у ті чи інші ділянки площі або змінюються геологічні умови, дрени треба розміщувати не систематично (паралельними лініями), а *вибірково*, залежно від характеру ізогіпс ґрунтових вод і рельєфу поверхні.

Такий метод вибіркового закладання дренаж, що його інколи називають *несистематичним* дренажем, дає можливість зменшувати кількість дренаж, не знижуючи їх ефективності, тобто сприяє здешевленню осушення.

Виходячи із необхідної норми осушення, дрени повинні бути закладені на певну глибину  $H$  для того, щоб депресійна крива ґрунтових вод у найбільш високій точці посередині між каналами була нижчою за поверхню землі з урахуванням глибини в каналі  $h$ . Як видно із рис. 4.5, за однієї й тієї самої норми осушення відстань між каналами  $D_1$  та  $D_2$  визначається глибиною їх закладення.



**Рис. 4.5** Депресійні криві поверхні ґрунтових вод при різній глибині осушувальних каналів і відстані між ними

Мінімальна глибина регулювальних дрен на луках становить 0,5-0,6, на пасовищах – 0,6-0,7, на полях – 0,8-0,9, у садах – 0,9-1,0 м. Але практично глибину відкритих дрен залежно від умов їх експлуатації трохи збільшують: на луках до 0,7-0,9, на полях до 1,1-1,2, у садах до 1,2-1,3 м. Глибина закритих дрен повинна бути більшою від глибини промерзання ґрунту і становить переважно 1,0-1,5 м.

Вибираючи глибину закладання дрен, треба враховувати умови залягання і фільтраційні властивості зволжених ґрунтів. Так, дрени завжди слід закладати у більш водопроникному шарі, навіть тоді, коли це призведе до деякого збільшення їх глибини; глибшими повинні бути дрени, що закладаються для осушення слабопроникних суглинистих і глинистих ґрунтів. Необхідно враховувати також і кліматичні умови та перевагу вологих або посушливих років. У вологі роки на важких ґрунтах ефективніший неглибокий, але частий дренаж, а в посушливі роки – навпаки; збільшення глибини дрен на легких ґрунтах у посушливі роки може призвести до надмірного зниження рівня ґрунтових вод.

*Відстані між регулювальними каналами або дренами* тісно пов'язані з їх глибиною, бо саме співвідношення між глибиною і частотою дренажувальних елементів визначає динаміку рівня ґрунтових вод між дренами. Розрахунок регулювальної мережі саме й виходить із потрібних темпів зниження ґрунтових вод між дренами. Під час вибору відстаней між дренами потрібно брати до уваги дослідні й практичні дані, де найкраще враховані ґрунтові та кліматичні особливості району.

На мінеральних перезволжених землях відстані між каналами-колекторами слід вибирати так, щоб тривалість стікання поверхневих вод зменшилась до величини, за якої не виникає перезволоження.

Відстань між колекторами, яка відповідає необхідній тривалості стікання (іменована також «часом відведення»), визначається [3]:

$$l = m_n \sqrt{I} k^{1/2} \tau^{3/2}, \quad (4.2)$$

де  $k$  – середня за час спаду інтенсивність поглинання на затопленій струмочками частині схилу, віднесена до всієї площі та розраховується за виразом:

$$k = 0,67 \tau k_{0,5} \approx 0,67 k_0 \tau, \quad (4.3)$$

де  $k_{0,5} \tau$  – дійсна інтенсивність поглинання зі струмочків по вертикалі, середня за час ;

$k_0$  – відповідна встановлена інтенсивність;

$\alpha$  – коефіцієнт затоплення поверхні, середній за час спаду. Величина  $\alpha$  на болотах змінюється від 0,2 до 0,25, на нерівних суходолах вона складає близько 0,15;

– тривалість спаду стоку

$$\alpha = \left( l / m_n \sqrt{I \cdot k^{1/2} \cdot \alpha'} \right)^{2/3}, \quad (4.4)$$

де  $m_n$  – коефіцієнт опору поверхні;

$I$  – ухил поверхні, ‰ :

$l$  – довжина схилу, м;

$\alpha'$  – коефіцієнт зарегульованості.

Точність гідрологічного розрахунку відстаней між каналами за (4.2) залежить від того, наскільки правильно вибрана вихідна величина тривалості відведення. Існують різні підходи до вирішення цього завдання. Проводились фенологічні спостереження за розвитком сільськогосподарських культур, визначалась їх урожайність на дослідних ділянках різного розміру, з різним часом відведення дощових вод. На цій основі пропонувались розрахункові значення від однієї доби при сильному сталому перезволоженні та для ксерофітних рослин до трьох діб – для умов помірного періодичного перезволоження і вологолюбних культур. Однак значно краще визначати час із умов водного балансу, щоб забезпечити однаковість між припливом вологи в ґрунт за час після дощу розрахункової забезпеченості та витратою за відповідний міждощовий період при оптимальному зволоженні. Приблизно необхідний баланс ґрунтової вологи виражається відношенням:

$$k(T + \alpha \alpha') = e T_M / k. \quad (4.3)$$

Звідки

$$\alpha = 1 / \alpha' (e T_M / k - T), \quad (4.4)$$

де  $e$  – випаровування, мм/год;

$k$  – середня інтенсивність вбирання, мм/год;

$T$  і  $T_M$  – розрахункові тривалості дощу і міждощового періоду (год.).

Звичайно час відведення за (4.3) дорівнює декільком десяткам годин, а відповідна відстань між колекторами за (4.2) – від 100 до 200 м, іноді більша. Розрахунок відстаней між дренами повинен базуватись на вимозі звільнити шар ґрунту потужністю  $H_0$  від гравітаційної води за потрібний час спаду рівня  $\alpha_{\text{гр}}$ . Потрібне зниження рівня називається нормою осушення.

Норма осушення повинна бути пов'язана з потужністю кореневого шару ґрунту, а час зниження рівня – з тривалістю недощового періоду розрахункової забезпеченості.

Основними завданнями гідрологічного розрахунку осушувальних систем є такі:

- 1) Установлення тих характеристик стоку з мінеральних перезволожених земель, які визначають розміри каналів осушувальних систем.
- 2) Визначення стоку болотних вод і відповідних розрахункових витрат.
- 3) Розрахунок інтенсивності каналізації (відстаней між каналами).

Розрахунок поверхневого стоку з осушуваного масиву передбачає визначення притоку води з карт (схилів), його трансформації в осушувальних системах і розрахункових витрат.

#### **4.3.2 Провідна частина осушувальної системи і водоприймач**

*Провідна частина осушувальної системи* призначена для відведення з осушуваної території зайвої води у водоприймач.

До провідної мережі потрапляють поверхневі й ґрунтові води. Ця мережа повинна відводити всі води протягом року і при тому забезпечувати у регульовальній мережі потрібні, наперед задані, горизонти води.

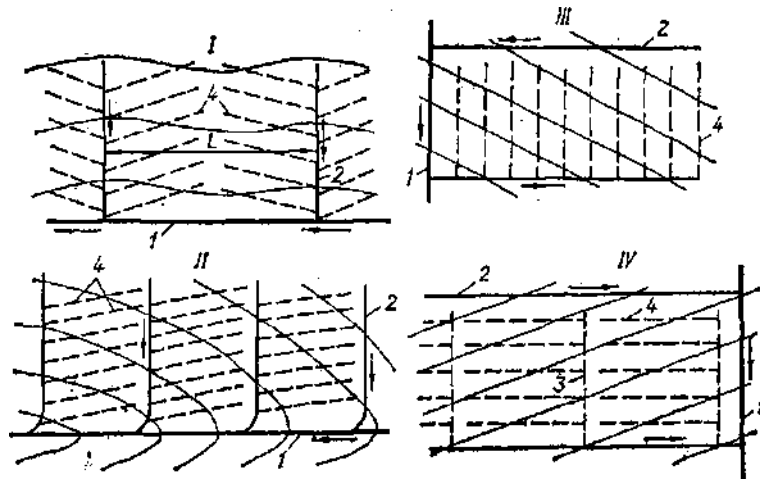
Складається провідна частина осушувальних систем із водовідвідних каналів-колекторів і магістрального каналу. Інколи частину невеликих колекторів виконують у вигляді трубчастих дренажів або підземних труб.

*Розміщення провідних каналів.* Магістральний осушувальний канал проводять на найнижчих відмітках осушуваної площі в напрямі найбільших ухилів поверхні землі. Але не завжди доцільно трасувати канал за наявними протоками або руслами; положення магістрального каналу вибирають залежно від техніко-економічних міркувань. Саме з цих міркувань для осушення довгих заболочених річкових заплав замість одного магістрального каналу великої довжини, з одним виходом у річку, доцільно обладнувати декілька коротких поперечних каналів з окремими виходами у річку.

Гирло магістрального каналу повинно входити у водоприймач у тому місці, де дно водоприймача розміщене нижче від дна каналу, а береги його міцні й прямолінійні. Бажано, щоб кут прилягання магістрального каналу до водоприймача становив близько 45-60°.

Бічні водовідвідні канали розміщуються залежно від господарської організації осушуваної території та розташування сільськогосподарських угідь; залежно від умов водного живлення заболочених земель, розміщення регульовальної мережі та механізації сільськогосподарських робіт, а також залежно від розмірів і форми осушуваної площі та місцезнаходження водоприймача.

Звичайно водовідвідні канали розташовують перпендикулярно до магістрального так, щоб вони розбивали осушувану площу на карти – ділянки прямокутної форми довжиною 1000-1500 м і шириною не менш як 200-250 м. Прилягання бокових каналів до магістрального краще робити під гострим кутом (45°) з плавним закругленням. На рис. 4.6 показано декілька прикладів розташування провідних каналів залежно від положення регульовальної мережі закритого типу.



**Рис. 4.6 Схеми розміщення провідних каналів:**

1 – магістральний канал; 2 – бічний відкритий провідний канал (колектор); 3 – бічний провідний закритий колектор; 4 – регулювальні дрени.

Відстань між каналами, розташованими за схемою I, дорівнює подвійній довжині регулювальних дрен, а між каналами, розташованими за схемами II і III, – одинарній довжині дрен.

На всіх цих схемах осушувальні системи досить прості: регулювальна мережа закритих дрен – бічний провідний канал – магістральний канал.

За схемою IV передбачається додатковий збірний колектор закритого типу, що являє собою провідний канал другого порядку. На великих за розміром або складних за рельєфом осушуваних площах провідна мережа складається з каналів кількох порядків.

**Розміри і конструкція каналів.** Розміри провідних каналів залежать від витрати води, яку вони повинні пропускати, і визначають їх проведенням гідравлічного розрахунку. При цьому можна допускати заповнення каналу до поверхні землі лише навесні, під час проходження паводків, та й то здебільшого тільки при осушенні лук і сіножатей. Під час літніх паводків горизонт води в каналах повинен бути на 0,4-0,5 м нижчим від брівки на луках та на 0,7-0,8 м нижчим на польових угіддях; влітку в нормальних умовах горизонт води в каналах мусить бути не вищим за 0,6-0,76 м від поверхні землі на луках та 0,9-1,1 м – на полях. Якщо у провідний канал впадають регулювальні дрени, горизонт води в каналах повинен бути на 0,1-0,2 м нижчим від побутового рівня води у дрені. Так само провідні канали вищого порядку повинні мати горизонти води ще нижчі тощо. Для забезпечення стоку води провідні канали проводять з ухилом дна в бік магістрального 0,001-0,005, магістральний канал прокладають з ухилом 0,001-0,0002 у бік водоприймача.

Мінімальна ширина провідних каналів по дну становить звичайно 0,3-0,6 м і збільшується відповідно до гідравлічного розрахунку.

Поперечний переріз каналів має звичайно трапецеїдальну або подвійно-трапецеїдальну форму, остання вигідніша, коли витрата каналу в

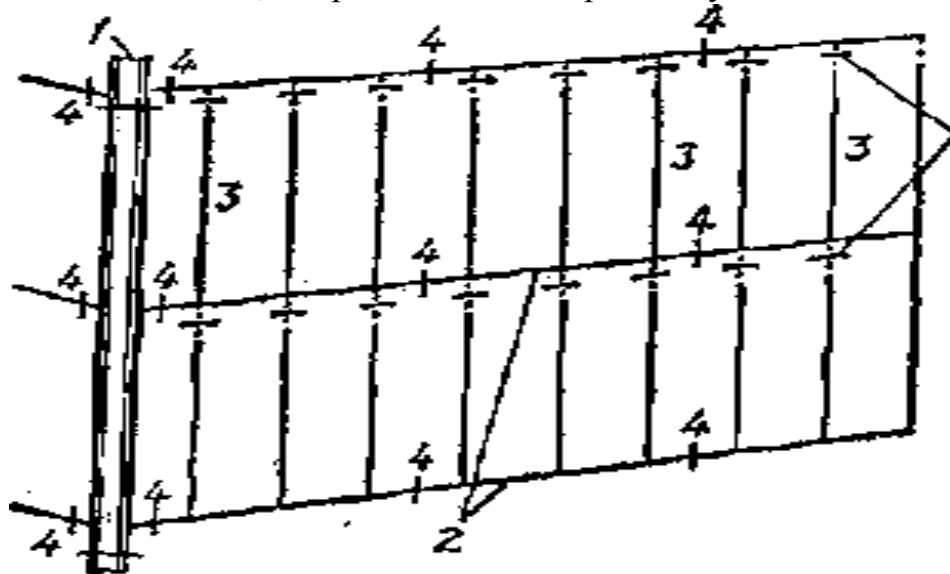
часі значно змінюється, бо забезпечує задоволення щодо замулювання каналу швидкості течії при мінімальних витратах.

Канали звичайно будують у земляному руслі, стійкість якого забезпечується відповідними укосами; так у торф'яних і глинистих ґрунтах закладання укосів становить 0,5-1,0, у суглинистих і супіщаних ґрунтах – 1,0-1,5, у піщаних – до 2,0-3,0. У нестійких пісках-пливунах укоси закріплюють дерном, хворостом або нижній частині каналу надають прямокутного перерізу, стінки якого закріплюють підпірною стінкою з дощок.

На каналах завжди обладнуються шлюзи-регулятори, за допомогою яких регулюють рівень води в каналах відповідно до потреб осушуваних земель.

Шлюзи-регулятори здебільшого дерев'яні або зі збірного залізобетону. На малих каналах шлюзи однопрогінні, на великих – із кількох прогонів. Отвори їх, за потреби, можна перекривати щитами.

Шлюзи-регулятори розміщуються на провідних каналах на таких відстанях (рис. 4.7), щоб можна було підтримувати певний водний режим на окремих полях сівозміни, які різняться за потребами у волозі.



**Рис. 4.7** Схема розміщення шлюзів-регуляторів на осушувальній системі: 1 – магістральний канал; 2 – боковий провідний канал; 3 – регулювальні канали (дрени); 4 – шлюзи-регулятори; 5 – водоспускні труби з шлюзами.

*Водоприймачі осушувальних систем.* Магістральні канали відводять надлишкові води з осушуваної площі у водоприймачі. Здебільшого водоприймачем є річка з постійною витратою. Можуть бути водоприймачами струмки та балки, якщо в них забезпечений постійний відтік води, великі озера із забезпеченим стоком, а також водосховища; нарешті, для невеликих осушувальних систем інколи можливе скидання дренажних вод у підземні водоносні горизонти за допомогою вбирних колодязів або басейнів.

*Вимоги* до водоприймача можна сформулювати так: горизонт води у водоприймачі за жодних умов не повинен створювати підпору й підтоплення осушувальної мережі; водоприймач повинен мати достатню пропускну здатність, що дало б можливість відводити максимально можливу витрату води з осушуваної площі; водоприймач повинен мати стійке русло й міцні береги.

Якщо в потенційно можливому водоприймачі ці вимоги не задовольняються, його можна регулювати. Регулювання річок полягає у їх штучному випрямленні, розчищенні та поглибленні русла, обмеженні розмивання берегів штучними спорудами. В озерах чи ставках, крім того, можна штучно знижувати горизонт води.

#### **4.3.3 Осушувальні системи двостороннього регулювання**

Для запобігання переосушенню ґрунтів і безперебійного постачання водою рослин у літній вегетаційний період необхідне створення осушувальних систем двостороннього регулювання водного режиму. Такі системи є регуляторами природного водного балансу території. Оскільки осушувальна система працює в умовах змінних кліматичних факторів (чергування вологих і сухих періодів), то оптимально запроектована система повинна бути оснащена спеціальними регулювальними спорудами, що дозволяють керувати рівнями ґрунтових вод і стоком води в системі відповідно до зміни погодних умов і вимог сільського господарства. Регулювальні споруди на каналах і дренах дозволяють зменшувати або відводити стік води в регулювальну мережу й підвищувати рівень води, що надходить у відкриті канали, затримуючи її на осушуваній площі.

Існують два способи зволоження кореневмісного шару ґрунту:

1) дощування – вода в ґрунт надходить із поверхні, подавання її здійснюється дощувальними пристроями шляхом розбризкування;

2) підґрунтове й внутрішньогрунтове зволоження забезпечує короткочасне повне насичення кореневмісного шару ґрунту шляхом підймання рівня ґрунтової води або капілярного живлення.

Зволоження осушуваних земель за допомогою дощування застосовують при використанні під овочеві й кормові сівозміни, сади й культурні пасовища ділянок із ґрунтами важкого механічного складу.

Підґрунтове зволоження шляхом інфільтрації води з відкритих каналів, що перекриваються шлюзами, застосовують на добре водопроникних ґрунтах.

Крім поліпшення якості й структурних властивостей ґрунтів, зрошення осушених боліт підвищує врожаї, наприклад, сіна, в 3,5 рази порівняно з незрошуваною лукою; при цьому підвищується якість сіна (злаки витісняють осоки). На природно болотних заливних косовицях без осушення такої зміни рослинності не спостерігається.

При неправильному веденні меліоративного будівництва й експлуатації меліоративних систем виникають негативні наслідки. Так, надмірне зниження рівнів ґрунтових вод призводить до того, що торф швидко окислюється й мінералізується, дренажна мережа відносить поживні речовини й родючість осушених земель знижується. Тому при проектуванні систем необхідно вирішувати проблему комплексної меліорації зі створенням водоймищ, регулюванням русел річок, лісових насаджень, агротехнічних заходів тощо.

#### **4.4 Вплив осушення на родючість ґрунтів**

При осушенні кількість води в ґрунті зменшується, пори, що звільнилися від води, заповнюються повітрям. Теплоємність маси води в 2,1-5,5 разів вища за теплоємність твердої фази ґрунту. Тому при осушенні теплоємність ґрунту знижується. У результаті за тих самих витрат тепла осушений ґрунт прогрівається швидше, ніж перезволожений. Тепловий режим його верхніх шарів більш сприятливий для розвитку сільськогосподарських культур, оскільки осушений ґрунт менше випаровує вологи, тобто й менше витрачає тепла на випаровування. За даними спостережень, удень у літній період осушені ґрунти бувають на 1,5...7°C теплішими за неосушені. Але вночі й узимку вони сильніше й охолоджуються, тому на таких ґрунтах доцільніше вирощувати культури більш холодостійкі або з коротким вегетаційним періодом.

У *глинистих ґрунтах* при осушенні колоїди зі стану золів переходять у стан гелів, ґрунтові частки склеюються, що призводить до збільшення розмірів пор. Мулисті частинки порами з верхніх шарів переміщуються в нижні. У *торф'яних ґрунтах* осушення зумовлює перетворення волокнистої структури торфу на грудкувату, відбувається процес їх мінералізації. Всі ці зміни знижують здатність осушуваних ґрунтів адсорбувати воду, призводять до *осідання осушеного шару*. Чим більше в ґрунті перебувало води й колоїдних частинок, чим більший ступінь розкладання торфу й глибина осушення, чим інтенсивніша агротехніка (глибока оранка, розпушування тощо), тим більше осідання осушеного шару. У середньому для торф'яних ґрунтів воно становить 10 - 30 % потужності осушеного шару за перші п'ять років осушення (у подальші роки осідання відбувається повільніше), для глинистих і суглинистих-5- 20 %.

На ущільнених (після осідання в процесі осушення) ґрунтах умови для випасу худоби, руху людей і механізмів, догляду за сільськогосподарськими культурами найбільш сприятливі.

У *мінеральних ґрунтах* у перші ж роки осушення внаслідок збільшення пор і підвищення загальної пористості водопроникність підвищується, у торф'яних у зв'язку з інтенсивним розкладанням торфу – трохи знижується. Але як тільки торф мінералізується й набуває грудкуватої структури,



водопроникність осушеного шару знову підвищується. З підвищенням водопроникності стік води вглиб ґрунту збільшується, поліпшуються його аерація й повітропроникність. Ґрунт збагачується киснем, створюються оптимальні умови для проходження в осушеному шарі біохімічних і окисних процесів.

Болота, особливо верхові, *бідні на бактерії*. Неосушений торф на глибині 25 см від поверхні практично стерильний. У верхньому його шарі переважають анаеробні бактерії (нітрифікаційних практично немає), розвиваються амонізація, денітрифікація, розкладається целюлоза. На осушених же торф'яних землях при вирощуванні різних сільськогосподарських культур процес аеробіозису прискорюється, з'являються нові види бактерій, включно із нітрифікаційними.

Із посиленням окисного процесу й активізації діяльності аеробних бактерій в осушуваному шарі підвищується мінералізація торфу, накопичуються поживні речовини. На осушених землях активно розвиваються нижчі живі організми (хробаки, багатоніжки тощо), що сприяють підвищенню родючості ґрунту, і в той же час зменшується кількість шкідливих комах (наприклад, малярійних комарів), місцевість оздоровлюється.

В осушеному ґрунті добре розвивається коренева система рослин. Корені проникають на значну глибину, і рослини в спекотну пору року не страждають від перегріву верхніх шарів ґрунту. Вирощувані на осушених землях культури дають високі врожаї.

#### **4.5. Вплив осушення на стік із болотних масивів**

Гідрологічне значення осушення боліт полягає в тому, що зниження середніх річних рівнів води в торф'яному покладі збільшує товщу шару аерації, спричиняє зникнення активного горизонту боліт, призводить до осідання й ущільнення торф'яного покладу. Завдяки прокладанню мережі осушувальних каналів і закритих дренажів збільшується фронт стікання з осушуваної території. Все це впливає на формування стоку з боліт після їх осушення.

Збільшення довжини фронту дренажування призводить до прискорення стікання дощових і снігових вод; зменшення коефіцієнтів фільтрації торфу при його осіданні також збільшує стікання, однак збільшення потужності зони аерації, підвищуючи акумуляційну здатність осушеного болота, сповільнює стік. У результаті відбувається зміна внутрішньорічного розподілу стоку з болотних масивів. Середні багаторічні модулі максимального стоку весняного водопілля в осушувальних системах можуть збільшитися на 80 %, максимальні модулі дощових паводків в основному зменшуються під впливом великої акумуляційної здатності торф'яних ґрунтів освоєного болота. Середній річний об'єм стоку не змінюється після осушення боліт слабого підземного живлення й збільшується на 25 % при

осушенні боліт рясного підземного живлення. Осушення й освоєння боліт сприяє перерозподілу об'ємів стоку, а також зменшенню стоку поверхневого й збільшенню підземного стоку. Поверхневий стік зменшується за рахунок великої акумуляційної ємності, зони аерації освоєних боліт, а підземний збільшується за рахунок інтенсивного дренажу вод осушувальними системами.

У перші роки після осушення в режимі річок збільшуються об'єми річного стоку. У наступні роки в основному відбувається перерозподіл фаз водного режиму, а річний стік не змінюється. За середніми багаторічними показниками вологообміну в ґрунтах, вплив осушення виявляється в посиленні бічного притоку підземних вод в осушувальні системи. Це може призвести до деякого перерозподілу підземного стоку, що згодом загасає.

Осушені болота є більш цінними для народного господарства. На осушених низинних болотах розвивається високопродуктивне сільське господарство: болота засівають кормовими, зерновими, овочевими культурами тощо. Найбільш високі врожаї одержують при створенні осушувальних систем двостороннього регулювання.

Торф'яні болота служать джерелом палива для промисловості й електростанцій. У наш час торф широко використовується як добриво, підстилки для худоби, як будівельний матеріал і сировина для хімічної переробки (віск, органічні кислоти, парафін, ацетон тощо).

### **Запитання для самоконтролю**

- Яка різниця між заболоченими землями й болотами?
- Які існують види заболочування?
- Як утворюються болота?
- Чим відрізняються верхові болота від низинних?
- Які особливості гідрології боліт?
- Чи можна осушувати верхові болота?
- Що являють собою спосіб і метод осушення?
- Що впливає на дію осушувальних каналів?
- Що являє собою осушувальна система? Які її компоненти?
- Що являє собою осушувальна мережа?
- Дайте визначення норми осушення.
- Які існують методи визначення відстаней між осушувачами?
- Що являє собою дренаж, із яких матеріалів його виконують?
- Як надходить вода в дрени?
- Яке призначення провідної частини осушувальної системи?
- Назвіть переваги осушувальної системи двостороннього регулювання.
- Як впливає осушення на родючість ґрунтів ?
- У чому полягає гідрологічне значення осушення боліт?
- Як змінюється внутрішньорічний розподіл стоку з болотних масивів?

## 5. ВПЛИВ ВОДНИХ МЕЛІОРАЦІЙ НА РІЧКОВИЙ СТІК

### 5.1 Розрахунок річкового стоку, зміненого зрошенням

Вплив зрошення на річковий стік залежить від багатьох причин. Облік об'ємів води, яка забирається з русла річки для зрошення, з урахуванням об'ємів зворотних вод дає в першому наближенні величину зменшення стоку річки. Для більш детального аналізу потрібні дослідження елементів водного балансу зрошуваних масивів і порівняння їх із водним балансом водозбору без зрошення.

Зрошення активно впливає на такі життєво важливі процеси, як формування поверхневого і підземного стоку, солеперенесення в зоні аерації, водно-повітряного режиму верхнього шару ґрунту тощо.

У цілому можна сказати, що стік річок, які є джерелом для зрошення, зменшується, а тих, до яких скидають води зі зрошуваних полів, – збільшуються. Значний вплив мають такі чинники, як випаровування з водної поверхні водойм і каналів, витрати вологи на формування врожаю (транспірація) та втрати води на поповнення ґрунтових вод.

Річковий стік під впливом зрошення значно трансформується. Нижче від головної споруди зрошувальної системи він зменшується на величину водозбору, але частина вилученої на зрошення води повертається в річку нижче від зрошуваного масиву, створюючи так званий зворотний стік (поверхневий і підземний). Крім того, різко збільшується паводковий стік природних опадів із площі зрошення. Таким чином, зміну річкового стоку внаслідок зрошення площі  $F_{зр}$  можна виразити рівнянням [3]:

$$\Delta Y = (\Delta Y_{нов} + \Delta Y_{зр} + Y_{зв} - M_{бр}) \square \approx (Y_{зр.онт} - Y_{зр}) \square + (Y_{нов.онт} - Y_{нов}) \square + Y_{зв} \square - M_{бр} \square \quad (5.1)$$

де  $\Delta Y_{нов}$  і  $\Delta Y_{зр}$  – приріст поверхневого і підземного стоку на площі зрошення;

$Y_{зв}$  – зворотний стік із цієї площі;

$Y_{нов.онт}$  – поверхневий стік дощових і талих вод після зрошення (за оптимальної вологості);

$Y_{нов}$  – те саме до зрошення (за вологості ґрунту  $V'_{кл}$ );

$Y_{зр.онт}$  – підземний стік зі зрошуваної площі після зрошення;

$Y_{зр}$  – те саме до зрошення;

$\square$  – коефіцієнт меліорованості, тобто відношення  $F_{зр} / F$ ;

$\Delta Y$  – приріст стоку, віднесений до всієї площі водозбору річки.

Ґрунтове живлення річок формується трьома процесами:

- незмінним природним припливом з частини площі басейну, що не зазнала меліорації;
- забирання частини цього припливу із річки на зрошення;
- підземним припливом зі зрошуваної площі, який складається зі збільшеного просочування опадів та інфільтрації поливних вод крізь товщу ґрунтів.

Таким чином, об'єм підземного живлення річок складає:

$$V = Y_{zp} (F - F_{zp}) - \alpha_1 M_{\bar{p}} F_{zp} + \alpha Y_{zp} \quad (5.2)$$

І розрахунковий шар ґрунтової складової річкового стоку:

$$Y_{zp. \text{ розр. }} = \alpha Y_{zp} \quad (5.3)$$

Д

$$\alpha = 1 - \alpha_1 \left( 1 + \alpha_1 M_{\bar{p}} / Y_{zp} \right), \quad (5.4)$$

Тут  $F$  – площа басейну, км<sup>2</sup>;

$F_{zp}$  – площа зрошення, км<sup>2</sup>;

$\alpha_1$  – частка ґрунтового живлення у воді, яка забирається на зрошення;

$\alpha$  – коефіцієнт меліорованості;

$\alpha$  – басейновий коефіцієнт ґрунтового живлення.

Режимний коефіцієнт  $\alpha_1$  визначається на основі розчленування розрахункових гідрографів стоку за зрошувальний період. Для сухих районів, особливо в сухі роки, він наближається до одиниці, внаслідок незначності дощових паводків і короткочасності забирання поверхневих вод на спаді весняної повені. На Півдні України він складає в середньому 0,8; в окремих пунктах - 0,9, але на північ зменшується.

Слід визначити, що коефіцієнт  $\alpha$  при малій меліорованості менший за одиницю, тобто зрошення зменшує стік із басейну в цілому. Але при значній меліорованості басейну він може перевищити одиницю, досягаючи, якщо зрошується весь басейн, величини  $\alpha$ . Із (5.3) неважко визначити те критичне значення коефіцієнта меліорованості  $\alpha = \alpha_{кр}$ , за якого негативна дія зрошення на підземну складову річкового стоку змінюється на позитивну:

$$\alpha_{кр} = 1 - \alpha_1 / \alpha - \alpha_1 \quad (5.5)$$

Зміна поверхневої складової річкового стоку визначається аналогічно до зміни підземної складової.

## 5.2 Визначення критичного рівня ґрунтових вод і його екологічна оцінка

З початком зрошення за рахунок просочування поливних вод і фільтрації з каналів приплив до водоносних горизонтів збільшувався, спричиняючи акумуляцію  $\Delta W_{zp}$  в ґрунтових водах і підвищення їх рівня. Це призводить до збільшення підземного стоку. В перспективі, коли виникає рівність між припливом до водоносних горизонтів і стоком із них, акумуляція припиняється ( $\Delta W_{zp}$  дорівнює нулю) і встановлюється певний рівноважний рівень ґрунтових вод  $H_{кр}$ , який іменується критичним. Найважливішим завданням екологічного обґрунтування є визначення цього критичного рівня, його припустимості. Це завдання вирішується на основі рівняння трансформації водного балансу в його оптимізованому вигляді (3.1). За цим рівнянням можна розрахувати хід трансформації водного балансу внаслідок меліорації і, більш наближено, обчислити перспективний критичний рівень. Розрахунок слід виконувати за річними інтервалами часу, обчислюючи щорічні прирости акумуляції в ґрунтових водах:

$$\Delta W_{zp} = x + M_{нетто} + \Delta M - E - Y_{онт.нов} - Y_{онт.zp} + f \quad (5.6)$$

За метеорологічними даними (опаді, температура і вологість повітря) першого року після меліорації за балансовим рівнянням визначають різну акумуляцію в ґрунтових водах  $\Delta W_{zp} = \Delta W_{zp}$  і відповідний приріст рівня ґрунтових вод:

$$\Delta H_1 = \Delta W_{zp1} \square \quad (5.7)$$

де  $\square$  – коефіцієнт водовіддачі. Стік ґрунтових вод на певному басейні пропорційний їх витраті:

$$Y_{zp} = \square v w = \square k_{\phi} \square H^2 / L \quad (5.8)$$

де  $v$  – середня швидкість течії, м/с;

$w$  – сумарна площа перерізу дренажних річкою горизонтів, км<sup>2</sup>;

$H$  – середня потужність зони насичення, м;

$k_{\phi}$  – середній коефіцієнт фільтрації;

$\square$  – коефіцієнт водоносності, тобто відношення товщі водоносних шарів до шару ґрунту  $H$ , у якому вони містяться;

$H/L = I$  – ухил дзеркала ґрунтових вод;

$L$  – середня на басейні відстань від вододілу  $m$  дренавальних русел;  
– коефіцієнт пропорційності.

За перший рік від початку зрошення відносний приріст стоку ґрунтових вод, зумовлений підвищенням їх рівня на  $\Delta H_1$ , складає величину:

$$\square = Y_{1zp} / Y_{zp} = (1 + \Delta H_1 / H_0)^2, \quad (5.9)$$

де  $Y_{1zp}$  – стік за перший рік після зрошення, мм;

$Y_{zp}$  – стік до зрошення, мм;

$H_0$  – напір ґрунтових вод до зрошення, м.

Визначивши стік за перший рік після зрошення:

$$Y_{1zp} = \square Y_{zp} \quad (5.10)$$

обчислюємо потім за його величиною з рівняння водного балансу акумуляцію за другий рік:

$$\Delta W_{zp} = \Delta W_{2zp} \quad (5.11)$$

і відповідне при цьому підвищення рівня  $\Delta H_2$ , а потім і стік 2-го року:

$$Y_{2zp} = Y_{zp} (1 + \Delta H_1 + \Delta H_2 / H_0)^2 \quad (5.12)$$

Такий же розрахунок повторюють для 3-го і подальших років. Розрахунок продовжують доти, доки не отримають приріст рівня ґрунтових вод, який практично дорівнює нулю, і відповідний критичний рівень:

$$H_{kp} = H_0 + \Sigma(\Delta H) \quad (5.13)$$

Визначена позначка критичного рівня  $\Delta H_{kp}$  повинна задовольняти умову:

$$\Delta H_{kp} \leq \Delta H_{don}, \quad (5.14)$$

де  $\Delta H_{\text{дон}}$  – допустима позначка рівня ґрунтових вод, яка дорівнює

$$\Delta H_{\text{нов}} - H_n - H_k, \quad (5.15)$$

причому  $\Delta H_{\text{нов}}$  – позначка земної поверхні, м;

$H_n$  – товщина ґрунтового покриву, м;

$H_k$  – висота капілярного підняття, м.

Якщо зазначена нерівність не дотримується, то вода буде підніматись капілярами від критичного рівня, виносячи розчинені солі у ґрунт. У процесі випаровування води, яка надходить знизу, у ґрунті будуть накопичуватись солі – почнеться процес засолення, що згубно впливає на зрошувані землі.

Якщо  $\Delta H_{kr} > \Delta H_{\text{дон}}$ , необхідно змінити режим зрошення. Цього можна досягти облицюванням каналів, що зменшить величину  $f_k$ . Однак цей шлях і дорогий, і не завжди досить ефективний, оскільки фільтрація з каналів – не головний компонент балансу. Тому вживають також і зменшення надлишку водоподавання на поле  $\Delta M$ , скорочуючи для цього величину  $k_{\text{розр}}$ . Це поєднується з деякою втратою урожаю на площі  $1 - f_{\text{розр}}$ , але все ж таки є доцільним у техніко-економічному відношенні. У крайньому разі, якщо нема іншого виходу, можна піти на скорочення зрошувальної норми, зменшивши розрахункове значення мінімально допустимої вологості  $V_{kr}$  на 5-10% (але не нижче за вологість розриву капілярів).

Для виконання описаного розрахунку ходу трансформації водного балансу можна вибрати конкретну послідовність років, забезпечених спостереженнями. Але можна використати також модельовані ряди, а ще простіше – середньобагаторічні значення гідрометеоеlementів.

Для екологічного обґрунтування можна використати і спрощений спосіб розрахунку, який не потребує обчислення хронологічного ходу трансформації водного балансу. У цьому спрощеному варіанті з рівняння водного балансу визначають  $Y_{\text{гр.онт}}$ , установивши  $\Delta W_{\text{гр}} = 0$  і використавши нормальні значення інших елементів. За величиною  $Y_{\text{гр.онт}}$  обчислюють відповідний критичний рівень.

### 5.3 Стік зі зрошуваних масивів України

Розроблено два методи розрахунку стоку  $Y_{\text{онт}}$  за вегетаційний період (а також за місяць) зі зрошуваних полів України:

1. *Генетичний* (синтетичний) метод, оснований на визначенні стоку  $Y_{\text{онт}}$  від кожного стокоформуального дощу середнього або сухого року за

оптимальної вологості. Річний (або сезонний, місячний) стік визначається шляхом підсумовування:  $Y_{onm} = \sum Y_{onm}$ . Поверхневий стік від одного дощу визначається з різниці шару опадів і шару втрат. Для середніх умов зрошуваної зони України при оптимальній вологості на основі рівняння стоку для одного дощу:

$$Y'_{onm} = x - k_0 T - AT^{(1-n)} / (1-n), \quad (5.16)$$

де  $T$  – час, протягом якого інтенсивність дощу перевищує вбирну здатність ґрунту, год.

$x$  – опади, мм;

$A, k_0, n$  – інфільтраційні параметри, усереднені за площею.

отримано вираз:

$$Y'_{onm} = x - k_0 T - AT^{(1-n)} / (1-n) = x - 0,06T - 20T^{1/4} \quad (5.17)$$

2. *Емпіричний* (регіональний) – метод, оснований на побудові залежностей норми поверхневого, а також підземного, річного стоку від середньобогаторічного шару опадів. Для цієї побудови використовуються:

1) дані метеостанцій, розташованих у різноманітних умовах зволоження з охопленням як посушливої, так і оптимально вологої території України;

2) карти ізолій поверхневої і підземної складової повного річкового стоку. Вказані величини добре коригуються, оскільки карта річних опадів значною мірою визначає кліматичну норму ґрунтової вологості – найважливішого фактора коефіцієнта стоку. Тому вдалось обґрунтувати придатні для практичних розрахунків формули коефіцієнтів стоку для всієї рівнинної території України, яка лежить на захід від Дніпра і на південь від широти Києва. Отримані нижче наведені формули коефіцієнтів стоку.

Для поверхневої складової:

$$\square_{нов} = \square(x - x_{\min})^8 = 0,5 \cdot 10^{-6} (x - 150)^2 \quad (5.18)$$

Для ґрунтової складової:

$$\square_{зр} = 0,3 \cdot 10^{-6} (x - 250)^2, \quad (5.19)$$

де  $x$  – річний шар опадів, за якого стік взагалі не виникає, мм/рік. Як бачимо, опади до 250 мм/рік затримуються ґрунтовим шаром, не просочуючись у



грунтові води, а при опадах до 150 мм/рік і зливовий поверхневий стік, як правило, не утворюється. Це – умови пустелі, в Україні вони відсутні.

Наведені вище формули дозволяють обчислити коефіцієнти поверхневого і підземного стоку за оптимальних умов зрошення. Для цього достатньо до спостережених опадів розрахункового року додати норму зрошення  $M_{\text{нетто}}$ . У такому випадку:

$$\square_{\text{опт.нов}} = \square(x - x_{\min} + M_{\text{нетто}}) = 0,5 \cdot 10^{-6} (x - 150 + M_{\text{нетто}})^2 \quad (5.20)$$

$$\square_{\text{опт.зр}} = 0,3 \cdot 10^{-6} (x + M_{\text{нетто}} - 250)^2 \quad (5.21)$$

Використовуючи формули (5.20) і (5.21) можна визначити шари стоку від природних опадів:

$$Y_{\text{опт.нов}} = \square_{\text{опт.нов}} \cdot x \quad (5.22)$$

$$Y_{\text{опт.зр}} = \square_{\text{опт.зр}} \cdot x \quad (5.23)$$

Зворотний стік поливних вод визначається окремо.

Для розрахунку режиму зрошення необхідно отримані величини стоку розподілити за місяцями розрахункового року. Внутрішньорічний хід стоку не відрізняється постійністю. Однак із метою балансового розрахунку елементів режиму зрошення цілком можливо орієнтуватись на середній, найбільш звичайний внутрішньорічний розподіл.

Розрахунковий розподіл поверхневого стоку для півдня зрошуваної зони України, який відповідає модальним умовам середніх за зволоженням і середньосухих років, такий (табл.5.1)

Таблиця 5.1 Розрахунковий розподіл поверхневого стоку для півдня зрошуваної зони України

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Стік у % від річного	4	10	73	5	4.5	2.5	0	0	0	0	0	1.0	100

Підземний стік на Півдні України майже не змінюється протягом року. Він дуже невеликий і в балансових розрахунках може розподілятися по місяцях рівномірно.

Розрахунок максимального забезпеченого зливогого стоку зі зрошуваних масивів орієнтують на вбирну здатність ґрунту, зволоженого до водоутримувальної здатності, використовуючи формулу:

$$Y_{o'nm \max} = x - 0,06T - 11,2T^{1/4} \quad (5.24)$$

де  $x$  і  $T$  – шар і тривалість зливи розрахункової забезпеченості.

#### 5.4 Вплив осушувальних меліорацій на річковий стік

У процесі осушення боліт і заболочених земель у північній і південно-західній частинах території України також відбуваються зміни: рівні ґрунтових вод знижуються, змінюються рослинний світ, вологість ґрунтів тощо. Ці зміни неминучі, без них неможливо створити нові сільськогосподарські поля.

Ще на початку ХХ століття в результаті численних досліджень учених сформувалися певні уявлення щодо впливу осушення боліт і заболочених земель на річковий стік. Так, вважалося, що природне торфове болото має велику вологоємність і значну здатність акумулювати й утримувати воду. Але внаслідок малої водовіддачі торфуги ця вода не може бути додатковим джерелом живлення річок. Таким чином, природні болота віддають воду не на живлення річок, а на випаровування. Отже, природні торфові болота не є регуляторами річкового стоку. Питання про гідрологічну роль боліт і вплив їх осушення на водний режим дискутувалось у науковій літературі, зокрема в [1, 2, 4, 5]. На жаль, фактичних даних про стік річок, водозбори яких були б різною мірою меліоровані, було замало для надійних висновків. Лише на кінець 60-х – початок 70-х років для річок Українського Полісся були нагромаджені мінімально необхідні фактичні дані про стік із водозборів за природних умов і з водозборів, на яких значні площі боліт, заболочених і перезволожених земель осушені і введені в сільськогосподарський обіг. Було розглянуто 41 водозбір. У 78 % створів річний стік істотних змін під впливом осушення не зазнав, на решті – він збільшився. Весняний стік у 74 % випадків також не змінився. Стік літньо-осіннього періоду на половині всіх створів не змінився, а на інших – значно збільшився. Збільшився також мінімальний місячний стік. Під впливом осушення річковий стік став більш рівномірним.

Таким чином, негативного впливу осушення боліт, заболочених і перезволожених земель на річковий стік за наявних на водозборах площ осушення і за гідрометеорологічними умовами періоду спостережень за стоком не виявлено (звичайно, тут ідеться про кількісні показники стоку). Зміни стоку за рік на річках Прип'ятського Полісся України під впливом осушувальної меліорації здебільшого не перевищують точності ( $\pm 15 \%$ )

розрахунків. Меженний і мінімальний місячний стік річок дещо збільшився, внаслідок чого внутрішньорічний розподіл стоку з меліорованих водозборів став рівномірнішим.

## **5.5 Вплив боліт на річковий стік**

З'ясовуючи гідрологічну роль боліт, слід виходити як із загальних характерних гідрологічних властивостей, властивих болотам взагалі, так і зі специфічних особливостей, властивих різним типам боліт. Крім того, необхідно враховувати приналежність боліт до тієї чи іншої кліматичної зони.

Загальними властивостями, характерними для боліт, є: підвищене випаровування порівняно з навколишніми суходолами, порівняно малий об'єм води, який бере участь у внутрішньорічному вологообігу, і низька водовіддача в меженні періоди. Болотні струмки, річки, драговини чинять деякий вплив на стік із боліт, вирівнюючи його. Повне припинення стоку з верхівкових боліт можливе як у зимовий, так і в літній меженні періоди. Дощові опади, що випадають при рівнях ґрунтових вод, розташованих нижче від активного шару, акумулюються в болоті й не дають стоку.

Води, що надходять у низинні болота зон нестійкого й недостатнього зволоження, в основному витрачаються на випаровування. Виконуючи функцію випарників у цих районах, низинні болота за умови великого їх поширення на водозборі, сприяють істотному зниженню річкового стоку.

У деяких випадках стік із водозборів, на яких поширені низинні болота, виявляється вищим і більш стійким порівняно з водозборами, на яких відсутні болота. Прикладом може служити стік річок Полісся, де загальною причиною є підвищене ґрунтове живлення.

Таким чином, вплив боліт на стік річок неоднозначний. У зоні достатнього й надлишкового зволоження болота практично не впливають на норму річного стоку; вони знижують максимальний і мінімальний стік. Великі болотні масиви, у яких значні площі зайняті озерами, сприяють регулюванню річкового стоку. Наявність болотних масивів у районах недостатнього зволоження сприяє зниженню річкового стоку порівняно з незаболоченими водозборами.

### **5.5. 1 Коливання рівня ґрунтових вод на болотних масивах**

Ґрунтові води в болоті залягають поблизу поверхні. Дзеркало ґрунтових вод практично повторює форму цієї поверхні за рахунок високої водоутримувальної здатності торф'яного покладу.

У річному ході рівня верхівкових боліт простежуються два максимуми й два мінімуми. *Перший весняний максимум* практично збігається з максимальною інтенсивністю сніготанення. *Улітку спостерігається*

зниження рівня за рахунок різкого збільшення випаровування. *Восени рівень підвищується* внаслідок зменшення випаровування й збільшення опадів; *узимку знову відбувається зниження рівня* через припинення атмосферного живлення й фільтрації з активного шару.

Середня глибина дзеркала ґрунтових вод змінюється від 5 до 40 см. Зменшення глибини залягання ґрунтових вод відбувається зі зменшенням густоти й висоти дерев, зміни кущової та трав'яної рослинності, тобто зі зменшенням продуктивності фітомаси. Амплітуда коливання рівня ґрунтових вод у різних мікроландшафтах болотних масивів у середньому становить від 0,2 до 1 м.

Характерною рисою режиму ґрунтових вод на болоті є те, що коливання рівня в різних точках болотного масиву відбуваються практично синхронно, однак середній рівень і амплітуда коливання різні в окремих мікроландшафтах. Такий характер коливань є наслідком різних умов випаровування із цих мікроландшафтів і різним ступенем ущільненості сухої речовини в активному шарі.

### **5.5.2 Випаровування з болотних масивів**

Випаровування з болотних масивів визначається кількістю тепла, що надходить до поверхні випаровування, і кількістю вологи, яка підводиться до поверхні випаровування з товщі болотного масиву, а також випадає у вигляді атмосферних опадів.

Залежно від зміни положення рівня ґрунтової води можна виділити три стадії в процесі випаровування.

*Перша стадія* належить до умов повного насичення болотного ґрунту водою. Випаровування в цьому випадку визначається метеорологічними факторами. При зниженні рівня ґрунтової води, коли тільки частина дрібних пор подає воду до поверхні, настає *друга стадія* випаровування. І, нарешті, при зниженні рівня нижче від зони капілярного підняття (*третьої стадії*) капілярний потік до поверхні відсутній і болотний ґрунт починає просихати на деяку глибину.

Випаровування з боліт за вегетаційний період (травень-вересень) залежить від кліматичної зональності й співвідношення площ, займаних різними типами болотних мікроландшафтів у кожному конкретному болотному масиві.

На болотних масивах, представлених низинними (евтрофними) мікроландшафтами, випаровування у зоні надлишкового зволоження в середньому перевищує випаровування з оліготрофних боліт на 10-15 %.

У зоні недостатнього зволоження вододільні болотні масиви відсутні взагалі, випаровування же з боліт річкових долин, озерних западин і улоговин, представлених низинними мікроландшафтами, може досягати більших значень, наближаючись до випаровуваності.

### Запитання для самоконтролю

- Які фактори впливають на стік води в природі?
- Якими величинами характеризується стік?
- Які методи застосовують для вивчення стоку?
- Як змінюється річковий стік під впливом зрошення?
- Як визначається критичний рівень ґрунтових вод при зрошенні?
- Назвіть методи розрахунку стоку  $Y_{onm}$  за вегетаційний період зі зрошуваних полів України.
- Як впливає осушення на стік?
- У чому особливості стоку з осушених боліт?
- Назвіть два максимуми й два мінімуми у річному ході рівня ґрунтових вод на болотних масивах.
- Схарактеризуйте три стадії процесу випаровування з болотних масивів.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна

1. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. – Л.: Гидрометиздат, 1988. – 303 с.
2. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Воднобалансовые исследования. – К.: Вища школа, 1982. – 229 с.
3. Бефані А.М. Сучасні проблеми меліоративної гідрології: навчальний посібник.- К.: ТЕС, 1998. – 82 с.

### Додаткова

4. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. – М: Изд-во МГУ, 1987. – 304 с.
5. Жернов І.Є., Солдак А.Г., Куш П.Ю., Гриза О.О Меліоративна гідрогеологія. – К: Вища школа, 1972. – 332 с.
6. Бабилов Б.В. Гидротехнические мелиорации: Учебник для вузов. 4-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2005. — 304 с.
7. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України. – К: Аграрна думка, 2009. – 624 с.
8. Колпаков В. В., Сухарев И.П. Сельскохозяйственные мелиорации / Под ред. И.П. Сухарева. – М.: Агропромиздат, 1988. - 319 с.
9. Кравчук В.І., Сташук В.А. Машины і обладнання для зрошування. – К.: Ніка-Центр., 2011. – 112 с.
10. Багров М.Н., Кружилин И. П. «Оросительные системы и их эксплуатация. –М.: Колос, 1982.-240 с.
11. Лозовіцький П.С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів. Навчальний посібник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 276 с.

Навчальне електронне видання

**ГОПЧЕНКО ЄВГЕН ДМИТРОВИЧ  
КІЧУК НАТАЛІЯ СТЕПАНІВНА**

## **МЕЛІОРАТИВНА ГІДРОЛОГІЯ**

Конспект лекцій

**Видавець і виготовлювач**  
Одеський державний екологічний університет  
вул.Львівська, 15, м. Одеса, 65016  
тел./факс; (0482) 32-67-35  
E-mail: [info@odeku.edu.ua](mailto:info@odeku.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 5242 від 08.11.2016