

4.6.2. Формування прогнозних моделей нормованого водокористання на зрошуваних землях

А.В. Ткачук

В умовах зміни кліматичних умов з метою інтенсифікації землеробства виняткове значення має вирощування сільськогосподарської продукції на зрошуваних землях, так як стійкий ріст її виробництва визначається відповідністю біологічних особливостей сільськогосподарської культури до природно-кліматичних умов території.

Для забезпечення економічно ефективного використання зрошуваних земель та стабільних валових зборів сільськогосподарської продукції, перш ніж приступати до водокористування на зрошуваних землях, необхідно дослідити агрокліматичні ресурси території.

У зв'язку із значною мінливістю погодних умов на території досліджень і збільшенням повторюваності посушливих років дослідження продуктивності сільськогосподарських культур залежно від кліматичних чинників є актуальним.

За останні десятиріччя наукова спільнота всього світу приділяє значну увагу змінам клімату як на регіональному, так і на глобальному рівнях. Чимало дискусій виникає при вивченні та обговоренні цього питання. Саме тому метою роботи є дослідження зв'язку продуктивності агроценозів залежно від мінливості погодних умов території (Ткачук, Запорожченко, 2017).

Наукове обґрунтування доцільності вирощування будь-якої культури на зрошуваних землях, напевно, має розглядатись у двох аспектах. Перший полягає у визначенні економічної доцільності вирощування культури при зрошенні, другий – визначенні режиму зрошення сільськогосподарської культури при мінливості кліматичних умов протягом періоду вегетації. Якщо перший аспект має розглядатись у співвідношенні

вартості необхідних ресурсів (води, посівного матеріалу, добрив тощо) до вартості отриманої продукції, то другий – у визначенні економічно-обґрунтованого режиму зрошення, тобто у визначенні приросту врожаю за рахунок зрошення. Ключовим питанням тут є режим зрошення.

Саме тому домінуючою і визначальною є задача адаптації режимів зрошення відповідно до змін кліматичних умов з метою отримання стійких врожаїв сільськогосподарських культур.

Для вирішення поставленої задачі необхідно розробити концептуальну модель нормованого екологічно безпечного водокористування, суть якої полягає в компромісному розв'язанні і погодженні обсягу та інтенсивності антропогенного впливу з параметрами природної й інженерної складових.

В основі концепції лежить обґрунтування й вибір технічних засобів і технологій, які були б адаптовані до конкретних природних особливостей території дослідження, на основі прогнозів можливих запасів ґрунтової вологи під посівами сільськогосподарських культур і, відповідно, природного зволоження досліджуваної території, а отже, оцінка можливих негативних наслідків водокористування в межах еколого-економічних обмежень. Пріоритетний напрям – виявлення тих блоків і елементів водокористування на зрошуваних землях, за допомогою яких стане можливим забезпечити екологічну надійність їх функціонування.

Прогнозна модель має включати три взаємопов'язані підсистеми: географічну, що містить природні та техноприродні процеси; інженерну, до якої входять блоки технічних засобів і технологічний; підсистему управління, що ґрунтується на інформації,

яка є підставою для ухвалення рішення з питань експлуатації меліорованих земель.

Базовим алгоритмом прогнозу географічної підсистеми є кількісний та якісний прогнози запасів ґрунтової вологи з використанням агрогідрометеорологічних даних, прогнозних оцінок продуктивності екосистеми для різних за природним зволоженням років, сценаріїв функціонування зрошувальної системи. Результати таких досліджень становлять наукове обґрунтування для вибору екологічно безпечного нормованого водокористування на зрошуваних землях (прийняттого і надійного варіанта функціонування зрошувальної системи – реконструкції, модернізації, консервації, виведення зі сільськогосподарського обігу тощо). Крім того, виконані прогнози і сценарії функціонування зрошувальної системи можуть бути основою для розробки нових, більш досконалих технічних засобів та технологічних рішень, природоохоронних заходів, що спрямовані на зниження негативних наслідків водокористування на зрошуваних землях.

Отже, для досягнення цієї мети необхідно завчасно знати, які умови зволоження можна очікувати у наступному календарному році.

Якісний прогноз вологозапасів. Запропонований спосіб прогнозування запасів ґрунтової вологи ґрунтується на залежностях та складних зв'язках, які виявлені під час дослідження процесу формування запасів ґрунтової вологи в системі ґрунт – атмосфера, що обумовлені впливом багатьох чинників, найбільш активні з яких – метеорологічні. Ці закономірності було розкрито в результаті статистичної обробки стандартних агрометеорологічних спостережень і виражено у вигляді залежності ґрунтових вологозапасів від попередніх погодних умов. За даними спостережень, отриманих агрометеорологічними і метеорологічними станціями, обчислюють запаси вологи у ґрунті до моменту укладання прогнозу (Литовченко, 2011). По закінченні аналізу фондових ма-

теріалів та обчислених щоденних значень запасів ґрунтової вологи надається характеристика просторово-часової мінливості загальних вологозапасів, забезпеченості (%) та тривалості (доба) умов зволоження досліджуваної території.

Враховуючи, що реальні врожаї сільськогосподарських культур залежать не лише від міжрічних коливань агрогідрометеорологічних умов, які проявляються в різних умовах зволоження вегетаційних сезонів, що еквівалентно часовим варіаціям агрокліматичних зон і підзон, але й від характеру, динамічності та інтенсивності їх змін за конкретного вегетаційного сезону. Саме тому розв'язок задач екологічно безпечного нормованого водокористування має починатися з оцінки мінливості природного зволоження ґрунту у просторі та протягом вегетаційного періоду сільськогосподарської культури. При цьому особливу увагу привертають так звані критичні періоди розвитку сільськогосподарських культур по через нестачу вологи у ґрунті, адже саме протягом цих періодів іде формування майбутнього врожаю.

Аналіз попередніх розрахунків для умов Дніпропетровської області свідчить про те, що в дуже вологій і вологій за природним зволоженням роки умови вологозабезпеченості досліджуваної території характерні для недостатньо вологої, теплої (лісостепової) зони України, у середній та середньосухій роки умови зволоження відповідають посушливій, дуже теплій (степовій) зоні, а в сухій роки – дуже посушливій, помірно спекотній (південно-степовій) зоні. Указані типи агрокліматичних зон проявляються на досліджуваній території в часі у вигляді «плаваючих» ареалів із різними рівнями зволоження. У результаті угіддя в різні роки виявляються за умовами зволоження нібито в різних агрокліматичних зонах і підзонах.

Як критерій для оцінки умов зволоження території пропонуємо використовувати такі показники: гідротермічний коефіцієнт

Селянінова, суму опадів (за певні періоди) і суму ефективних температур повітря.

З достатньою для інженерних розрахунків точністю виконання воднобалансових розрахунків та агрометеорологічних прогнозів доцільно розділити статистичні ряди за достовірністю перевищення (забезпеченості) середніх значень за вегетацію за метеорологічними факторами та метеорологічними комплексами

на п'ять характерних за умовами зволоження груп: 0–20% – дуже вологий; 20–40% – вологий, 40–60% – середній, 60–80% – сухий, 80–100% – дуже сухий (Ткачук, 2007).

У табл. 4.7, 4.8 наведено характеристику зволоження території і тривалість та ймовірність умов зволоження за даними спостережень на метеостанції Синельникове з 1947 по 2014 рік.

Таблиця 4.7

Середньорічні параметри зволоження років різної забезпеченості

Рік за зволоженням	Гідротермічний коефіцієнт Селянінова	$\sum t > 5^{\circ}\text{C}$ по періодах			Сума опадів по періодах, мм		
		за рік	вегетаційний весняно-літній	критичний	рік	вегетаційний весняно-літній	критичний
Дуже вологий (P = 10%)	1,16	3166	1892	1013	601,0	260,8	188,1
Вологий (P = 25%)	1,08	3204	1927	1039	552,0	256,9	122,8
Середній (P = 50%)	0,97	3298	2076	1043	519,3	212,9	124,3
Середньосухий (P = 75%)	0,79	3415	2159	1152	487,3	205,9	92,0
Сухий (P = 90%)	0,69	3670	2253	1144	393,2	151,1	79,4

Умови зволоження визначаються Л.С. Кельчевською (1983) в такий спосіб: при $\eta > 1,3$ – надмірно вологі; $\eta = 1,3-1,1$ – вологі;

$\eta = 1,1-0,9$ – оптимальні; $\eta = 0,9-0,7$ – слабо-посушливі; $\eta = 0,7-0,5$ – помірно посушливі; $\eta = 0,5-0,3$ – посушливі та при $\eta < 0,3$ сухі.

Таблиця 4.8

Забезпеченість (%) та тривалість (доба) вологозапасів у метровому шарі ґрунту у критичний період під посівами пшениці озимої в різні за атмосферним зволоженням роки

Рік за зволоженням	Умови зволоження											
	вологі		оптимальні		слабо-посушливі		помірно посушливі		посушливі		сухі	
	діб	%	діб	%	діб	%	діб	%	діб	%	діб	%
Дуже вологий (P = 10%)			29	47,5	32	52,5						
Вологий (P = 25%)			10	16,4	49	80,3	2	3,3				
Середній (P = 50%)					56	91,8	5	8,2				
Середньосухий (P = 75%)							19	31,1	42	68,9		
Сухий (P = 90%)									61	100		

Отримані дані в розрахунках показують, що на досліджуваній території в різні за атмосферним зволоженням роки запаси ґрунтової вологи змінюються в широких межах. У дуже вологі та вологі роки вологозапаси

на досліджуваній території значно вищі, ніж в інші, про що свідчить тривалість стояння протягом критичного періоду оптимальних умов зволоження. Так, максимальна тривалість оптимальних запасів вологи (понад

246 мм) у метровому шарі ґрунту спостерігається в дуже вологі роки протягом 29 днів, а у вологі – лише 10. Умови вологозабезпеченості змінюються зі зміною зволоженості року, наприклад, у сухі роки в метровому шарі ґрунту показник умов вологозабезпеченості не перевищує 0,5, тобто загальні вологозапаси менші за 136 мм, що відповідає посушливим умовам зволоження.

Маючи запаси ґрунтової вологи, зможемо легко призначити режим зрошення. У свою чергу, відповідно до природного зволоження року (забезпеченості), розраховуємо типові режими зрошення для років дуже вологих, вологих, середніх, середньосухих і сухих. Режим зрошення складаємо на підставі обчислених щоденних запасів ґрунтової вологи (Литовченко, 2011).

Розглянута схема представляє собою якісний (статистичний) прогноз вологості ґрунту. За нею можна проводити розміщення сільськогосподарських культур і планування базових агротехнологій залежно від умов вологозабезпеченості поточного року. Далі проводять довгострокове кількісне прогнозування запасів ґрунтової вологи, на основі якого визначають тип зволоження на конкретний вегетаційний сезон.

Кількісний прогноз вологозапасів.

Статистичний прогноз – це об'єктивний прогноз, який базується на статистичних зв'язках між метеорологічними (агrometeorологічними) явищами, що спостерігаються на одній і тій самій або на різних гідрометеорологічних станціях, в один і той самий або в різні інтервали часу. Зазвичай такі зв'язки виражаються за допомогою рівнянь регресії, відповідних графіків тощо (Веріго, Разумова, 1973; *Руководство...*, 2001).

Для реалізації можливих (необхідних) заходів по усуненню негативного впливу нестачі вологи у ґрунті необхідно заздалегідь знати, коли буде критична ситуація. Для цього необхідний надійний довгостроковий прогноз вологозапасів на весь вегетаційний період, включаючи передпосівні та післяпосівні поливи.

Довгостроковий науково обґрунтований агрогідрометеорологічний прогноз базується на наявній інформації. З цією метою використовують обчислені на кожен день вегетації запаси ґрунтової вологи. Суть прогнозу полягає в підборі такого реального року, в якому режим накопичення та витрачання вологи в метровому шарі ґрунту аналогічний режиму накопичення і витрачання вологи у прогнозованому. Він має на меті за 3–4 місяці передбачати запаси ґрунтової вологи в умовах поточного року. Відмінною особливістю такого прогнозу є зростання його значення в оперативному управлінні поливами у процесі реалізації експлуатаційних режимів зрошення сільськогосподарських культур з метою забезпечення екологічно безпечного водокористування. За такого планування реєструються мінімальні втрати води і оптимальне забезпечення водою рослин, що обумовлює отримання максимально можливої врожайності культур для умов конкретного року. При дефіциті ресурсів оптимальне управління поливами забезпечує реалізацію таких норм і термінів поливу, за яких наявні ресурси будуть використані раціонально, а експлуатаційний режим зрошення дасть максимальний ефект. Крім цього, інформація про прогнозні значення запасів ґрунтової вологи з указаною завчасністю дасть змогу проводити планування відповідних технологій вирощування культур на незрошуваних територіях.

При перевірці агrometeorологічного прогнозу установлюють ступінь його виправданості.

Умовам вирощування озимої пшениці, як основної та важливої зернової культури в Україні, приділяють особливу увагу. Одним із головних факторів, що визнача високу врожайність озимої пшениці, як і інших сільськогосподарських культур, є погодні умови, від яких залежить їх найважливіший елемент – зволоженість ґрунту. Запаси ґрунтової вологи, як свідчить аналіз багаторічних даних вимірювань (спостережень), значно змінюються за роками та сезонами, а тому

здебільшого саме вони визначають рівень врожайності сільськогосподарських культур. Для раціонального використання природного та штучного зволоження ґрунтів необхідно знати основні природні закономірності формування та режим вологозапасів протягом усього періоду вегетації культури, починаючи від сівби (Ткачук, Ткачук, 2015).

Цілком очевидно, що лише при знанні закономірностей формування і режиму зволоження ґрунту під посівами культур можна запобігти або суттєво пом'якшити негативний вплив браку ґрунтової вологи, що впливає на отримання стабільно високих і якісних урожаїв сільськогосподарських культур. Для реалізації можливих (необхідних) заходів з усунення негативного впливу нестачі вологи у ґрунті необхідно заздалегідь знати, коли буде критична ситуація. Для цього необхідний надійний довгостроковий прогноз вологозапасів на весь вегетаційний період, включаючи передпосівні та післяпосівні поливи.

Абсолютна більшість прогнозів вологозапасів ґрунтується на складанні рівнянь регресії, які пов'язують запаси вологи в різні фази розвитку культур із температурою та дефіцитом вологості повітря, опадами або сумою цих елементів. У своїх дослідженнях С. А. Веріго та Л. А. Разумова (1973) встановили зв'язок зміни вологозапасів у холодний період року, в якому опади враховуються за прогнозами погоди. У «Руководстве по агрометеорологическим прогнозам» (1984) прогнозні запаси вологи пропонується обчислювати у шарах ґрунту 0–20 см і 0–100 см з огляду на фази розвитку пшениці озимої за рівняннями регресії, до складу яких входять середньодобова температура повітря і опади. На жаль, сучасна метеорологія не має достатньо точних методів кількісного прогнозу погоди на тривалий термін. З цієї причини практична можливість використання рівнянь регресії обумовлюється тим, наскільки значна важливість у формуванні прогнозних запасів вологи майбутніх погодних умов та як вони мінливі у часі. Чим більше значення цих умов і чим більша їх мінливість, тим

менше можливостей для довгострокових прогнозів із використанням рівнянь регресії.

Майбутні погодні умови та їх мінливість не є єдиним фактором, від якого залежить практична можливість довгострокових прогнозів. Їх точність та завчасність залежать також від надійності й повноти гідрометеорологічних даних та динаміки процесу формування запасів вологи у ґрунті протягом осінньо-зимового періоду. Окрім цього, більш повільний розвиток процесу формування вологозапасів та його відставання від більш швидкої зміни метеорологічних процесів є фактором, який дає можливість з певною завчасністю обчислювати можливі запаси вологи у ґрунті без урахування майбутніх погодних умов.

Ураховуючи викладене, вважаємо простим та ефективним, прогноз вологозапасів, який ґрунтується на використанні не метеорологічних елементів, а хронології запасів ґрунтової вологи. Такий підхід до вирішення проблеми прогнозування вологозапасів став можливим завдяки розробці, зробленій на кафедрі сільськогосподарських гідротехнічних меліорацій ДДАУ під науковим керівництвом професора О. Ф. Литовченка (2011).

Суть прогнозу полягає в підборі таких реальних років, коли режим накопичення та витрачання запасів вологи у ґрунті був би аналогічним хронологічному ходу вологозапасів у реальному році. Такий рік-аналог приймається як рік-модель, за яким оцінюють природну зволоженість року та розраховують проєктний режим зрошення на майбутній рік (Ткачук, 2007; Литовченко, 2011). З метою підбору років-аналогів будують інтегральні криві запасів ґрунтової вологи під посівами пшениці озимої для шару ґрунту 0–100 см за період від дати переходу середньодобової температури повітря через +10 °С у бік зниження восени попереднього року.

При визначенні модельних років як критерій використовують нахил лінії лінійної регресії для точок, даних в аргументах (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

**Результати обчислень нахилу лінії лінійної регресії
за даними метеостанції Губиниха, 1966–1991 рр.**

Рік	Нахил за вологозапасами		Рік	Нахил за вологозапасами	
	щодобовими	інтегральними		щодобовими	інтегральними
1977	0,013	302,9	1985	0,244	294,2
1982	0,041	299,9	1971	0,269	282,8
1972	0,049	298,2	1980	0,274	296,6
1976	0,057	301,2	1987	0,278	283
1989	0,081	299,6	1979	0,282	288,5
1970	0,088	298,1	1984	0,327	289,1
1990	0,089	298,8	1986	0,361	284,6
1988	0,091	299,5	1974	0,392	278,8
1978	0,105	300,1	1968	0,439	276,8
1973	0,111	299,2	1966	0,448	289,3
2018	0,139	300,4	1975	0,708	274,7
1969	0,179	298,5	1983	0,721	258,4
1991	0,189	284,2	1967	0,85	274,8
1981	0,236	297,2			

Наступним кроком довгострокового прогнозу було обчислення щоденних запасів вологи під посівами пшениці озимої у весняно-літній період її вегетації (табл. 4.10). Для цього скористалися запропонованою методикою (Ткачук, 2005; Литовченко, 2011).

Таблиця 4.10

**Прогнозні запаси ґрунтової вологи у шарі ґрунту 0–100 см під посівами пшениці озимої
за даними метеостанції Губиниха на 2018 рік**

Дата	W ₁₀₀ , мм	Дата	W ₁₀₀ , мм	Дата	W ₁₀₀ , мм	Дата	W ₁₀₀ , мм
01.03.18	301	09.04.18	251	18.05.18	206	26.06.18	174
02.03.18	301	10.04.18	248	19.05.18	204	27.06.18	172
03.03.18	300	11.04.18	248	20.05.18	201	28.06.18	171
04.03.18	299	12.04.18	246	21.05.18	198	29.06.18	171
05.03.18	298	13.04.18	244	22.05.18	195	30.06.18	169
06.03.18	297	14.04.18	244	23.05.18	193	01.07.18	173
07.03.18	296	15.04.18	250	24.05.18	195	02.07.18	173
08.03.18	296	16.04.18	252	25.05.18	201	03.07.18	173
09.03.18	294	17.04.18	253	26.05.18	199	04.07.18	175
10.03.18	293	18.04.18	252	27.05.18	203	05.07.18	173
11.03.18	292	19.04.18	252	28.05.18	202	06.07.18	176
12.03.18	290	20.04.18	254	29.05.18	199	07.07.18	176
13.03.18	289	21.04.18	254	30.05.18	196	08.07.18	175
14.03.18	287	22.04.18	254	31.05.18	194	09.07.18	174
15.03.18	286	23.04.18	252	01.06.18	191	10.07.18	175
16.03.18	287	24.04.18	253	02.06.18	190	11.07.18	176

Закінчення табл. 4.10

Дата	W ₁₀₀ , мм	Дата	W ₁₀₀ , мм	Дата	W ₁₀₀ , мм	Дата	W ₁₀₀ , мм
17.03.18	285	25.04.18	251	03.06.18	187	12.07.18	176
18.03.18	285	26.04.18	250	04.06.18	191	13.07.18	176
19.03.18	284	27.04.18	248	05.06.18	189	14.07.18	177
20.03.18	282	28.04.18	247	06.06.18	187	15.07.18	176
21.03.18	281	29.04.18	244	07.06.18	186	16.07.18	174
22.03.18	279	30.04.18	242	08.06.18	184	17.07.18	175
23.03.18	276	01.05.18	234	09.06.18	181	18.07.18	173
24.03.18	275	02.05.18	230	10.06.18	181	19.07.18	172
25.03.18	273	03.05.18	230	11.06.18	179	20.07.18	170
26.03.18	271	04.05.18	233	12.06.18	177	21.07.18	170
27.03.18	269	05.05.18	229	13.06.18	174	22.07.18	168
28.03.18	268	06.05.18	227	14.06.18	174	23.07.18	168
29.03.18	266	07.05.18	225	15.06.18	172	24.07.18	172
30.03.18	264	08.05.18	226	16.06.18	173	25.07.18	169
31.03.18	261	09.05.18	226	17.06.18	180	26.07.18	169
01.04.18	261	10.05.18	221	18.06.18	181	27.07.18	170
02.04.18	258	11.05.18	221	19.06.18	178	28.07.18	170
03.04.18	258	12.05.18	219	20.06.18	179	29.07.18	169
04.04.18	255	13.05.18	220	21.06.18	178	30.07.18	170
05.04.18	254	14.05.18	218	22.06.18	176	31.07.18	168
06.04.18	253	15.05.18	214	23.06.18	174		
07.04.18	253	16.05.18	213	24.06.18	174		
08.04.18	250	17.05.18	209	25.06.18	174		

Вибір року заданої забезпеченості. Під час розрахунку режимів зрошення виникає необхідність правильного вибору року заданої забезпеченості. Від цього залежить вирішення проблеми економного та високоефективного використання водних, енергетичних, фінансових, трудових та інших ресурсів. У результаті аналізу існуючих методів постає питання: а яким з методів скористатися? Адже кожен з них дає різні результати, а розрахунковий рік приймають один для всіх культур сівозміни. На практиці це призводить до завищення / заниження зрошуваних норм, отже, до збільшення вартості кінцевої продукції. Крім цього, методи різняться як за необхідними для розрахунків даними, так і принциповими підходами, серед яких можна

виділити два основних: дефіцит водоспоживання рослин та вологість ґрунту на розрахункову дату.

Тому питання безпомилкового вибору року, за яким ведуть розрахунок режиму зрошення, є одним із ключових у питанні екологічно безпечного водокористування.

Для визначення років, різних за природним зволоженням, прийнято такі методи: зрошувана норма (*Водоспоживання..., 2001; Ткачук, 2005*); комплексний показник (*Методичні..., 1993*); сума опадів у вегетаційний період та середні запаси ґрунтової вологи у критичний та вегетаційний періоди розвитку сільськогосподарських рослин (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Визначення забезпеченості посівів пшениці озимої за природним зволоженням років за даними метеостанції Синельникове

Рік	Опади, мм	Вологість ґрунту, мм			Зрошувана норма, мм	ККП
		інтегральна за період вегетації	середня за вегетацію	середня за критичний період		
2005	183,1	26350	216	211	80	0,299
2010	206,7	26978	221	226	80	0,351
2011	214,4	25631	210	202	80	0,312
2006	170,1	30066	246	284	80	0,325
2008	229,9	27068	222	254	80	0,234
2014	324,9	27895	229	228	80	0,065
2015	196,8	28388	233	264	80	0,364
2009	104,3	25719	211	235	120	0,727
2007	112,8	21281	174	167	120	0,792
2012	161,4	23373	192	180	120	0,753
2013	97,0	24040	197	189	120	0,779

Такий підхід є правомірним, оскільки, маючи статистичні ряди з обмеженими об'ємами вибірки (переважно 30–60 років), однакові або близькі за величиною значення членів ряду характеризуються різними значеннями за забезпеченістю, які часто суттєво відрізняються між собою.

В умовах реального року всі метеорологічні фактори та запаси вологи у ґрунті мають різну величину забезпеченості, що вказує на складний характер їх формування. У даних завжди присутні помилки різної природи, шум, а також присутні протиріччя окремих вимірювань одне до одного. Тому при аналізі даних, отриманих згаданими методами, необхідно оцінити всю сукупність отриманої в результаті обчислень інформації, що відрізняється як за розмірністю, так і за своєю суттю. Отже, наочне уявлення про ідентичність отриманих даних потребує застосуван-

ня спеціальних методів обробки даних. У нашому випадку прийнято кластерний метод.

За результатами обробки отриманих даних методом кластерного аналізу побудовано картосхеми. Аналіз картосхем показав, що відсутній один кластер, а отже, прийнятий ряд є нерепрезентативним і не може бути використаний для складання сценаріїв водокористування для різних за природним зволоженням років. У подібних випадках (короткий ряд спостережень), напевно, буде доцільним встановити різні рівні значущості кожного з показників. Так, для інтегральної суми вологозапасів та середньої вологості ґрунту за вегетаційний період встановлюємо рівень значущості 50%, а для опадів, ККП (комплексного показника), вологозапасів у критичний період і зрошуваної норми – 100% (рис. 4.4).

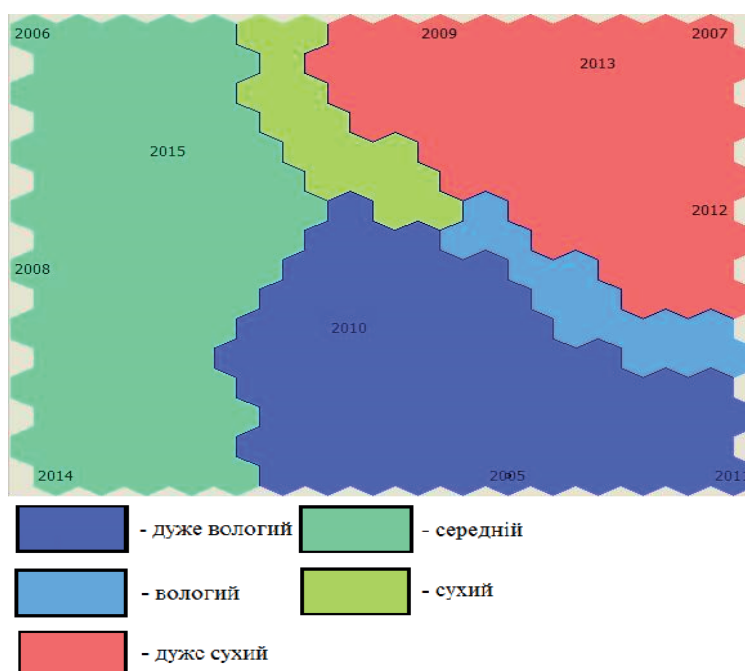


Рис. 4.4. Кластери забезпеченості за природним зволоженням років під посівами пшениці озимої за вегетаційний період (метеостанція Синельникове)

Проаналізувавши отримані результати за роки-аналоги, можна прийняти 2010 р. – дуже вологий; 2008 р. – середній; 2013 р. – дуже сухий. Подальші розрахунки режимів зрошення наводимо за прийнятими модельними роками.

Методологія планування водокористування на ділянці зрошення для різних сценаріїв зміни кліматичних умов. Режим зрошення всієї сівозміни можна представити у вигляді графіка поливів, на якому видно, в які дні необхідно проводити поливи, їх кількість за вегетацією, а також кількість води, необхідну для поливного періоду.

Серед відомих у меліоративній і сільськогосподарській практиці методів призначення поливів у конкретні роки, на наш погляд, найбільш коректним є метод призначення поливів залежно від вологості ґрунту.

Маючи обчислені для типових за природним зволоженням років режими зрошення, складають відповідні календарні графіки поливів та проводять водогосподарські розрахунки. Узгодження потреби сільсько-

господарської культури сівозміни із забезпеченістю поливною водою (укомплектування графіка) проводять шляхом зміщення термінів поливу, зміни тривалості роботи на поливах (у межах доби) і лише в окремих випадках – зменшенням поливних норм при вирощуванні менш цінних для господарства культур і в періоди, коли нестача води найменше впливає на врожай. Особливу увагу варто звернути на вологолюбні та цінні культури (соя, кукурудза, горох, овочеві культури тощо), адже збитки внаслідок недобору врожаю таких культур будуть найбільшими. З огляду на викладене при плануванні водокористування необхідно визначити склад сільськогосподарських культур на поливних землях. Розв'язання подібних задач базується на методах оптимізації, серед яких метод невизначених множників Лагранжа, методи лінійного і динамічного програмування, градієнтний метод та ін.

Структуру посівних площ на різних територіях для забезпечення найбільшої економічної ефективності вирощування сіль-

ського господарських культур за наявних резервів ґрунтової вологи визначимо шляхом максималізації лінійної форми:

$$J = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L \mu_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

за таких умов: $\sum_{i=1}^L S_i \forall i = 1, \bar{N} \quad K_e(x_i) \rightarrow \min$

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^N x_{ij} = S_R;$$

$$a_{ij} \leq x_{ij} \leq b_{ij} \forall j = 1, \bar{L};$$

де μ_{ij} – забезпечена ресурсами ґрунтової вологи врожайність j -тої культури на i -тій території;

$$\mu_{ij} = Y_{ij \max} - \sum_{p=1}^{M_i} M \cdot Y_{ijp} \quad (2)$$

де $Y_{ij \max}$ – максимальна (потенціальна) врожайність j -тої культури на i -тій території; M – кількість типів несприятливих умов природного зволоження при вирощуванні j -тої культури на даній території; Y_{ijp} – втрати врожайності j -тої культури за p -го типу вологозабезпеченості.

Вхідною інформацією для визначення очікуваних втрат урожаю від нестачі ресурсів ґрунтової вологи є умови вологозабезпеченості за вегетаційний або критичний період розвитку сільськогосподарської культури. Типізація умов зволоження за певні проміжки вегетаційного періоду дають можливість характеризувати динаміку метеорологічних умов у процесі розвитку сільськогосподарських культур і вести оперативне планування водокористування на зрошуваних землях. Беручи до уваги, що зменшення запасів ґрунтової вологи на 10% від необхідної кількості практично не впливає на врожайність будь-якої із сільськогосподарських культур; обчислення втрат урожаю внаслідок нестачі

вологозапасів доцільно оцінювати так: для вологолюбних культур – з настанням слабопосушливих умов ($\eta = 0,9-0,7$), для культур середньої посухостійкості – помірно посушливих ($\eta = 0,7-0,5$). Умова (2) необхідна для виключення явища монокультури і виявлення культури, для якої обмеженням у вирощуванні є ресурси ґрунтової вологи. Підкреслимо, що ця задача дозволяє оцінити не лише структуру потрібних площ, а й необхідність проведення гідротехнічних меліорацій для виявленої культури, і розробити режим зрошення.

Крім цього, введення в задачу умови дозволяє реалізувати екологічно безпечні принципи водокористування на зрошуваних землях (Литовченко, 2011); за такої постановки задачі в напрямку реалізації екологічно безпечного водокористування обирається оптимальний режим зрошення з огляду на мінімум втрат врожайності сільськогосподарських культур через дефіцит ресурсів ґрунтової вологи.

Відсутність у поставленій задачі обмежень на кількість культур дає можливість реалізувати комплексне розміщення, одночасно передбачивши необхідність проведення гідротехнічних меліорацій як для окремої культури, так і для сівозміни в цілому. Для зіставлення культур, що мають різні рівні врожайності, наприклад, цукровий буряк і озима пшениця, пропонується шлях нормування врожайності відносно $Y_{ij \max}$.

Складати план водокористування на зрошуваних землях доцільно і на невеликих територіях, оскільки в такому випадку з'явиться можливість врахувати їх мікрокліматичні особливості.

При розробці рекомендацій щодо водокористування на підставі середнього опису системи «кліма–врожай», незалежно від повноти і комплексності обліку впливу умов зволоження, ми неминуче зіткнемося з тим фактором, що ці плани водокористування будуть складатися в рамки існуючих планів водокористування і це цілком закономірно,

якщо врахувати, що у відносно сприятливі за природним зволоженням роки отримують достатньо високі врожаї практично всіх культур. Щодо інформації про врожайність в аномальні роки, про частоту і ступінь впливу нестачі ґрунтової вологи на врожайність, то це у розглянутій вище схемі враховується шляхом оцінки типу умов зволоження. Адже саме посуха нерідко є катастрофічним явищем при вирощуванні сільськогосподарської культури, і, напевно, найкращим захистом буде вибір таких планів водокористування, які б урахували повторення посух у майбутньому. Тому оцінка впливу дефіциту ґрунтової вологи на врожайність сільськогосподарських культур, що включає в себе виявлення та ймовірнісну інтерпретацію втрат врожаю від конкретного типу природного зволоження території, повинна слугувати основою при формуванні планів водокористування на зрошуваних землях і спеціалізації сільськогосподарського виробництва.

Надалі, маючи інформаційне забезпечення на наступний сезон, складають якіс-

ний прогноз запасів ґрунтової вологи і визначають сценарій водокористування – вологий, середній, середньосухий або сухий.

Отже, запропонована модель нормованого екологічно безпечного водокористування може бути успішно використаною для розробки автоматизованих систем управління вологістю ґрунту під посівами сільськогосподарських культур, а також при обслуговуванні зрошуваного і незрошуваного землеробства. Застосування цієї моделі надасть можливість скоротити витрати матеріальних і водних ресурсів, покращити організацію поливу і скоротити скидання води. За сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур модель, що пропонується, дозволить планувати не лише проведення чергових поливів, а й склад сільськогосподарських культур на зрошуваних землях, оцінити доцільність водовикористання зі зміною кліматичних умов, передбачати агротехнічні прийоми з покращення вологозабезпеченості посівів (пропольовання, міжрядний обробіток ґрунту) тощо.

4.6.3. Оцінка рівня технічної експлуатації ґрунтових гідротехнічних споруд

О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня, Г.В. Галіч

Геофізичні методи досліджень технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд. Ґрунтові гідротехнічні споруди (ГТС) водогосподарсько-меліоративного призначення в переважній більшості були побудовані в середині минулого сторіччя та належать до класу наслідків (відповідальності) СС1 (Щедрин *и др.*, 2004; Гідротехнічні споруди, 2008; Поташиник, Карамушка, 2008; Щедрин *и др.*, 2011; Бондар *и др.*, 2014; Галіч, 2014). На сьогодні більшість з них вичерпали нормативні терміни експлуатації, зазнали значного технічного зносу, що призвело до порушення технічного стану, зниження рівня їх безпечної експлуатації та може спричинити розвиток аварійних ситуацій. Як показує світовий

та вітчизняний досвід експлуатації, понад 65% аварій на ґрунтових греблях пов'язані із внутрішньою ерозією, зсувами укосів та фільтраційними деформаціями. Майже всі ГТС старої побудови потребують ремонтно-відновлювальних робіт. Одночасно зробити це неможливо, тому є необхідним застосування комплексу діагностичних обстежень з метою визначення ГТС, які потребують першочергового ремонту. Натепер оцінювання технічного стану та відповідності показників безпечної роботи таких споруд здійснюється здебільшого візуально, а у випадках додаткового їх обладнання закладною контрольно-вимірювальною апаратурою (КВА) виконуються інструментальні дослідження; епізодично застосовуються доволі вартісні та тру-