

BŁĄD OAZY POMIARÓW PAROWANIA Z LIZYMETRÓW

Feliks Zawistowski

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej

W minionym okresie czasu stosowano kilka metod określania parowania terenowego, zarówno dla potrzeb nauki jak i praktyki inżynierskiej:

1. Metodę hydrologiczną, która określa wielkość parowania w dużym przedziale czasu i przestrzeni, na podstawie różnic pomiędzy opadem a odpływem hydrologicznym. Nie uwzględnia ona jednak zmian retencji w glebie, a także różnic między wielkością zlewni podziemnej i nadziemnej.

2. Metodę formuł empirycznych, dającą dobre wyniki w warunkach zbliżonych do tych, w jakich formowano równanie empiryczne; w warunkach przedziałów granicznych — może być zawodna. Znanych jest ponad 400 formuł empirycznych na parowanie terenowe [7]. Najpopularniejsza w krajach wpływów angielskich jest formuła Blaney-Cridlla, pomimo że nie cieszy się najlepszą opinią. W krajach wpływów francuskich stosuje się formuły Turca lub Boucheta, w USA — Thornthwaita, Metha i inne.

3. Metodę bilansów cieplnych zwaną także metodą turbulencyjną, która pozwala z dużą dokładnością określić wielkość parowania terenowego [12]. Zastosowanie jej natrafia jednak w kraju na trudności ze względu na słabo jeszcze rozwiniętą sieć aktynometryczną, zwłaszcza w naukowo-badawczych stacjach rolniczych, i małą znajomość zagadnień promieniowania słonecznego.

4. Metodę bezpośredniego pomiaru parowania w lizymetrach, stosowaną zarówno w celach naukowo-badawczych jak i praktycznych, dającą wyjściowe materiały do ustalania równań empirycznych na parowanie. Niekiedy uwzględnia ona zmiany zachodzące w zasobach wodnych gleby.

Pomiary lizymetryczne powinny być wykonywane w sposób ograniczający powstawanie błędów, a w szczególności powinny:

1) wykazywać prawidłowości zmian wielkości parowania, zgodnie ze zmianami pogody,

2) umożliwiać wyprowadzenie współczynników pozwalających przejść z wartości parowania w lizymetrze do rzeczywistego parowania pola,

3) umożliwiać określanie wielkości parowania w krótkich przedziałach czasu,

4) być obarczone stosunkowo niewielkimi błędami.

Poza tym powinno się w lizymetrach wykonywać zabiegi techniczne i pielęgnacyjne jednocześnie ze stosowaną uprawą na otaczającym polu.

Wielorakie warunki stawiane przed pomiarami parowania w lizymetrach wpływają z potrzeby doskonalenia metod pomiarów. Pomimo bowiem upływu prawie 90 lat od czasu skonstruowania pierwszego lizymetru wagowego przez Ebenmeyera i lizymetru kompensacyjnego przez Wollnego [3, 11] nie dość poznane są jeszcze teoretyczne podstawy procesu parowania terenowego roślin umieszczonych w lizymetrze i nieznane są przyczyny powtarzających się niezgodności pomiaru parowania w lizymetrze z wielkością parowania rzeczywistego otaczającego pola. Długo np. nie wiadano, że zgodność powierzchni lizymetru z wielkością powierzchni czynnej w procesie promieniowania i sposób ustawienia lizymetru na styku z otaczającą roślinnością o identycznym parowaniu mogą gwarantować prawidłowość osiągniętych wyników. Nie znane były bowiem zjawiska cieplno-brzegowe naruszenia równowagi bilansów cieplnych w strefie granicznej na styku formowania się różnic bilansowych i dyfuzji cieplejszego powietrza do chłodniejszego otoczenia.

Warunki wodne w pobliżu i nad lizymetrem mają zasadniczy wpływ na lokalną zmienność parowania.

Utrzymująca się w latach 1905-1960 tendencja do budowania dużych i głębokich lizymetrów nie była pozbawiona racji, z tytułu częściowego pomijania w ten sposób błędów zjawiska brzeżnego lizymetru i błędów gromadzenia się wody ponad dnem lizymetru [11]. Słuszna jest również dążność do wykorzystania zawyżonych wyników parowania z małych lizymetrów, mających duże znaczenie praktyczne, przez stosowanie korekcyjnych współczynników przejścia z wartości $E_{lizym.}$ na parowanie rzeczywiste z pola E_a . Lepiej jest unikać zbyt wielkich różnic parowania w przygranicznej strefie i dążyć do zredukowania niekorzystnych zjawisk, w celu uzyskania homogenicznego układu otoczenia i lizymetru, podobnie jak to proponują: Schmuck, Dębski, Timofiejew i Dawydow, przy pomiarach parowania z powierzchni czynnej wody [5]. Wskaźniki przejścia nie są jednak jednoznaczną miarą dla każdego okresu w czasie wegetacji, a stopień rozrzutu ich wielkości jest dość znaczny w różnych porach nasilenia energii cieplnej.

Przy pomiarach lizymetrycznych stosuje się zbyt wiele uproszczeń, co wpływa na uzyskanie skażonych wyników. Turbulencyjna wymiana ciepła na parowanie zależy m.in. od struktury i szorstkości pola, od szybkości wiatru i temperatury. W miarę wzrostu powierzchni ewaporometru i jego głębokości [5] wpływ niektórych wymienionych czynników staje się coraz mniejszy. Współczynniki korekcyjne obliczone na podstawie konkretnych badań, wykazały zmienność w skali miesięcznej od 0,83 w lipcu do 0,96 w kwietniu i sierpniu [5]. Powyższe zależności przedstawione są w równaniu:

$$V_{jez.} = V_{ew.} \frac{(E - e_{200})_{jez.}}{(E - e_{200})_{ew.}}, \quad [1]$$

gdzie:

$E - e_{200}$ — różnica prężności pary wodnej między stanem rzeczywistym a stanem nasycenia w danej temperaturze, na wysokości 200 cm.

Błąd przejścia f w odniesieniu do badań lizymetrycznych można przedstawić w postaci równań:

$$E_{pola} = f \frac{d_{liz.}}{d_{pola}}$$

lub

$$E_{pola} = (A_l - A_p) : L,$$

gdzie:

A_l — ciepło na ogrzanie atmosfery, powstające z podziału ciepła w bilansie radiacji nad lizymetrem,

A_p — ciepło na ogrzanie atmosfery, powstające z podziału ciepła w bilansie radiacji nad przyległym polem,

L — ciepło utajone parowania (0,06).

Przy ustalaniu przyrostu parowania nad ewaporometrem Jurak [5] proponuje uwzględnienie: różnic promieniowania całkowitego, zredukowanego przez różne albedo na jeziorze i na ewaporometrze, oraz różnic wypromieniowania długofalowego z powierzchni wody w jeziorze i ewaporometrze.

$$\Delta V = \frac{1}{L} [S(A_{ew.} - A_{jez.}) + 4\sigma T_o^3(T_{p ew.} - T_p) + C_p a u (T_p - T) - C_p a_{ew.} u_{ew.} (T_{p ew.} - T')], \quad [2]^*$$

gdzie:

ΔV — wzrost ewaporacji,

L — ciepło parowania,

S — promieniowanie całkowite,

$A_{ew.}; A_{jez.}$ — albedo powierzchni wody w ewaporometrze i w jeziorze,

σ — stała Stefana Boltzmannna,

T_o — temperatura ciała doskonale czarnego,

$T_{p ew.}; T_p$ — temperatura wody w ewaporometrze i jeziorze, tuż pod powierzchnią,

T, T' — temperatura powietrza nad ewaporometrem i jeziorem,

C_p — pojemność cieplna powietrza przy stałym ciśnieniu,

$a_{ew.}; a$ — wyrażają właściwości aerodynamiczne powierzchni wody w ewaporometrze i jeziorze,

$u_{ew.}; u$ — prędkość wiatru nad ewaporometrem i jeziorem.

O wielkości parowania decyduje pionowy gradient wilgotności wy-

* Wzór wyprowadzono z wyników uzyskanych z ewaporometru o pow. 20 m².

wołany zjawiskami cieplnymi. Tylko wtedy parowanie z lizymetru będzie większe od rzeczywistego, kiedy przedostawać się będą nad lizymetr dodatkowe ilości ciepła drogą dyfuzji otaczającego pola. Ciepło to może pochodzić zarówno z promieniowania słonecznego i atmosfery jak również z promieniowania podłoża. Stąd nocne parowanie z powierzchni wody jest dość znaczne [6]. Nadmierne parowanie z powierzchni wody w ewaporometrach umieszczonych na tratwie może być wynikiem:

1) gromadzenia się nie skonsumowanego ciepła przez otoczenie ewaporometru (obudowę tratwy i jej wyposażenie),

2) nagromadzonego ciepła w zbiorniku wodnym ewaporometru nagrzanego bardziej od otaczającego jeziora, które nie ma ograniczeń w wymiarze ciepła z niżej położonymi warstwami wody.

Zjawiska różnic cieplnych w otoczeniu ewaporometru powodują przemieszczanie się ciepła nad parujące naczynie drogą dyfuzji i przeniesienia przez wiatr. Roli wiatru nie należy jednak uwzględniać w osobnym parametrze jeżeli jest on większy od występującego w czasie pomiarów temperatur, radiacji i niedosytów.

Błąd pomiarów parowania z lizymetrów pokrytych szatą roślinną składa się z błędów technicznych aparatury, sposobów pomiarów, zmienności czynnej powierzchni parującej i skutków odmienności reżymu wodnego w przestrzeni, powodującej utworzenie się oazy cieplnej lizymetru.

Błędy techniczne aparatury i sposobów pomiarów wynikają z niedokładności metrologicznej urządzeń. Określane są one poprawkami instrumentów i cechowania aparatów lizymetrycznych. Cechowanie aparatury pomiarowej może wносить poprawki do 10% odczytu pierwotnego, jak np. w przypadku niektórych ewaporometrów na Wałdaju.

Błędy wynikające ze zmienności powierzchni czynnej pola należy eliminować przez zastosowanie powtórzeń, w ilości zależnej od wymiaru naczynia, zmienności terenowej i dopuszczonego, założonego przedziału ufności.

Błędy wynikające z odmienności reżymu wodnego w lizymetrze

1) błąd zjawiska gromadzenia się wody ponad dnem lizymetru — Lützke [11], Glugla [3], Kortüm [8],

2) błąd głębokości lizymetrów wynikający z izolacji od pionowego przemieszczenia się wody z dolnych do górnych warstw gruntu,

3) błąd naruszenia struktury i tekstury gruntu powodujący zmiany właściwości kapilarnych, a także przyspieszenie odcieków,

4) błąd zjawiska brzeżnego odciekania wody po ściankach lizymetru, wynikający z nierównomiernego przylegania gruntu do ściany,

5) błąd kurczliwości gruntu pylastego i ilastego.

Błędy oazy cieplnej lizymetru

- 1) błąd brzeżny cieplny, zależny od wielkości lizymetru,
- 2) błąd otoczenia lizymetru,
- 3) błąd nagrzewania się gruntu w lizymetrze na skutek izolacji termicznej ścianek,
- 4) błąd niejednorodności szaty roślinnej lizymetru i pola,
- 5) błąd wielkości powierzchni czynnej szaty roślinnej i lizymetru.

Zjawisko oazy cieplnej występuje wszędzie tam, gdzie są warunki do różnicowania się wielkości cieplnych wycinka powierzchni czynnej pola w odniesieniu do otoczenia. Zmiany cieplne pochodzą głównie z różnic w wielkości parowania pola i lizymetru, a więc z odmiennego zużycia ciepła atmosferycznego. Obiekt o większym parowaniu wywoływać będzie wzrost ilości zużywanego ciepła w warstwie atmosfery i przyczyniać się do nasilenia zjawiska oazy cieplnej, zaniżania lub zawyżania pozostałości nie skonsumowanego ciepła.

Zjawisko oazy cieplnej można rozpatrywać biorąc pod uwagę: 1) różnice cieplne na styku dwóch pól uprawnych, 2) stosunek długości obwodu do powierzchni lizymetru, 3) różnice parowania z lizymetrów małych i dużych, 4) zmianę bilansów wodnych pod uprawami o różnej wydajności.

1. RÓŻNICE CIEPLNE NA STYKU DWÓCH PÓL UPRAWNYCH

Dobrym przykładem cieplnych efektów brzeżnych mogą być wyniki badań nad bilansem wodnym i cieplnym pól uprawnych o dużym zróżnicowaniu plonów. Badania tego rodzaju przeprowadzane były na stacji IGW w Borowej Górze w latach 1965-1966. Fragmenty z tych badań przedstawiono w tabeli 1. Ze średnich dekadowych obliczono różnice w warunkach cieplnych nad polami o różnych rodzajach upraw: nad mieszką paszową na siano i nad polem ziemniaczanym o z góry założonych różnicach w wysokości plonów. Na styku pól różniących się wielkością parowania powstają gradienty cieplne w układzie pionowym i przenikają drogą dyfuzji lub adwekcji z miejsca o wyższej energii cieplnej nad polem bardziej nagrzanym do miejsca o niższej energii nad polem mniej nagrzanym. Większe nagrzanie pola powstaje w warunkach pozostałości nie skonsumowanego ciepła na parowanie. Im mniejsze parowanie tym większa ciepłota atmosfery przygruntowej. Nagromadzeniu się energii cieplnej towarzyszy zwiększenie rzeczywistej i potencjalnej prężności pary wodnej. Wzrost niedosytów wilgotności zwiększa zdolność ewaporacyjną atmosfery i przyczynia się do wzrostu parowania potencjalnego E_p .

Roślinność brzeżna ma lepsze warunki do wzrostu niż roślinność w głębi pola uprawnego. Zjawisko brzeżne pola uprawnego może charak-

teryzować błąd oazy powstający w lizymetrze, jeżeli roślinność jego wykazuje różnice we wzroście w porównaniu z roślinnością otaczającego pola. Jeśli roślinność lizymetru różnic nie wykazuje, zjawisko efektu brzeżnego i efektu oazy nie zachodzi. Zjawisko to nie zachodzi także gdy zbyt silny wiatr nie pozwala na tworzenie się gradientów cieplnych atmosfery w warstwie przygruntowej.

Parowanie mierzono w lizymetrach GGI-3000 w trzech powtórzeniach. Dokonano tego z uwagi na błąd zmienności powierzchni czynnej pola pokrytego roślinnością, wykazującego lokalne różnice w wypełnieniu przestrzeni masą listowia. Średni błąd pomiaru parowania wynosił 6,5⁰%. W przypadku pomiaru bez powtórzeń błąd pomiaru wzrósłby znacznie, stawiając pod znakiem zapytania wiarygodność wyników.

Promieniowanie całkowite mierzono za pomocą płytki czarnej Moll-Gorczyńskiego, metodą pomiarów czasowych. Bilans radiacji, niezależnie od pomierzonego, obliczono z wartości promieniowania całkowitego, na podstawie ogólnie znanych zależności i metod [13]. Wyliczone wartości sprowadzono w części odnoszącej się do bilansu radiacji, w zakresie promieniowania długofalowego, za pomocą nomogramów Bolza i Falkenberga [12]. Wymianę ciepła z podłożem ustalono opierając się na uproszczonych metodach zawartych w pracach Savinowej i Kuryłowej [13]. Znając ogólną ilość ciepła zużywanego rocznie na wymianę z podłożem i jego podział na poszczególne miesiące obliczono ujemną wymianę w okresie od kwietnia do sierpnia i dodatnią we wrześniu.

Znając dane dla trzech składowych elementów bilansu radiacji — dopływu, zużycia na parowanie i wymiany z podłożem — obliczono czwartą składową — turbulencyjną wymianę ciepła w atmosferze — którą następnie sprawdzono z obliczeniami na nomogramach [14]. Bilans cieplny określono równaniem:

$$B + G + A + EL = 0,$$

gdzie:

B — bilans radiacji,

G — wymiana ciepła z glebą,

A — wymiana turbulencyjna z atmosferą,

EL — ekwiwalent cieplny parowania (E — parowanie, L — ciepło utajone parowania).

Aby nie dopuścić do zjawiska oazy, lizymetry umieszczono z dala od brzegów pola uprawnego. Lizymetry GGI-3000 zlokalizowano w odległości 160 cm od brzegu pola, a lizymetry GGI-500 w odległości 80 cm od brzegu łąny roślinności:

Średni błąd techniczny pomiarów parowania rzeczywistego obliczony z trzech powtórzeń lizymetrów GGI-3000 wynosił 6,5⁰%, przy czym w warunkach niskich plonów wzrastał do 7,5⁰%. Średni błąd pomiarów parowania potencjalnego z ośmiu znacznie mniejszych lizymetrów GGI-500 wyniósł 7,5⁰%. Dość znaczny błąd pomiarów wskazuje na możliwość

popęśnienia błędu ponad 20⁰%, w tych samych warunkach ale bez powtórzeń.

Występowanie w wielu dekadach wegetacji wysokich wartości parowania na sąsiadujących ze sobą poletkach pozwoliło na obliczenie różnic cieplnych i ilości nie skonsumowanego ciepła. Bilanse cieplne obliczone dla sześciu dekad 1966 r. przedstawiono w tabeli 1. Obliczone gradienty cieplne, jakie występują w strefie granicznej różnych pól, wykazują dość znaczne wahania (35,5-57,6), średnio 46 cal cm⁻² dobę⁻¹. Gdyby cała ta ilość nie skonsumowanego ciepła została przemieszczona drogą dyfuzji, adwekcji, promieniowania i przewodnictwa nad pole chłodniejsze o wyższej produkcji a nie uległa rozproszeniu, mogłaby podnieść dzienne parowanie o 0,8 mm. W rzeczywistości występujące gradienty cieplne na styku dwóch pól mogą powodować tak duże zwiększenie parowania tylko w wypadku dostatecznie dużego obszaru pola z nadmiarem ciepła w stosunku do obiektu z niedoborem ciepła.

Najwyższy gradient cieplny powstaje na styku wysokoprodukcyjnego pola pod uprawą mieszanki i czarnego ugoru. Wynosił on w badanym roku 253 cal cm⁻² dobę⁻¹. Ogrzanie atmosfery pochłonęło w drugiej dekadzie czerwca aż 391 cal cm⁻² dobę⁻¹ nad czarnym ugiorem, podczas gdy nad mieszankami tylko 138-180 kalorii. Suma gradientów cieplnych na styku z czarnym ugiorem może podnieść temperaturę atmosfery o ok. 7°C [13].

Nie zauważono jednak tak dużych gradientów na styku pól różnych upraw. Wahają się one w granicach 30-60 kalorii. Tej samej wysokości różnice występują na polach tej samej uprawy lecz o różnej wysokości plonów. Pole uprawne na styku z czarnym ugiorem, charakteryzuje się zawsze bardzo wysokimi gradientami i może przyczyniać się do znacznego natężenia zjawisk brzeżnych.

Gradienty cieplne procesu brzeżnego są tym większe im wyższa jest radiacja. W dni gorące gradient cieplny jest duży, w średniocieple — nieznaczny, a w chłodne jest niezauważalny.

Największe gradienty cieplne występują na styku powierzchni parującej z powierzchnią nie parującą. Dlatego łatwiej było spostrzec zjawisko zwiększonego parowania z powierzchni wodnej ewaporometru, umieszczonego na pływającej tratwie obudowanej deskami i beczkami pływającymi, nie zużywającymi ciepła na parowanie.

Wydeptanie lub uszkodzenie roślinności wokół lizymetrów powoduje błąd w pomiarach parowania dochodzący do 50 kalorii, tj. 0,9 mm parowania dziennego. Wyniki pomiarów mogą wtedy okazać się skażone i nieprawdziwe w odniesieniu do pola uprawnego.

Efekt brzeżny jest wynikiem tworzenia się cieplnych gradientów na styku stref brzeżnych dwóch pól różniących się wielkościami parowania.

$$(El_1 - El_2) = f(B, h^{-1}, m^2/n^2, t, v_w^{-1}) \quad [3]$$

Bilanse cieplne i gradienty cieplne na styku pól Borowa Góra, 1966 r. (średnie dzienne z dekady)

Okres czasu	Pole uprawne	Promieniowanie całkowite T cal/cm ² dobę	Bilans radiacji B cal/cm ² dobę	Parowanie rzeczywiste E_a mm	Ekwiwalent cieplny parowania E_{al} cal/cm ² dobę	Wymiana ciepła z podłożem G cal/cm ² dobę	Turbulencyjna wymiana ciepła z atmosferą A cal/cm ² dobę	Gradient ciepła ψ cal/cm ² dobę	Wzrost temperatury Δt °C	Zdolność do parowania ψ/L mm ψ (0.06. .1000)
11-20.VI	mieszanka wysokoprodukcyjna	724	527	6,04	362	26,9	138,1			
	mieszanka niskoprodukcyjna	724	527	4,95	297	26,9	203,5	65,4	6,4	1,09
	ogór czarny	724	527	1,82	109,4	26,9	391,1	253,0	12,0	4,22
	mieszanka wysokoprodukcyjna	480	360,5	4,80	288	21,6	50,9	50,9		
11-20.VII	mieszanka niskoprodukcyjna	480	360,5	4,47	268,2	21,6	70,9	20		
	ogór czarny	480	360,5	3,84	230,4	21,6	108,5	57,6	8,5	0,96
	mieszanka wysokoprodukcyjna	327	217	3,00	180,0	26,9	10,1			
	mieszanka niskoprodukcyjna	327	217	2,30	138	26,9	32,1	42,0	6,4	0,7
11-20.VIII	ziemiaki wysokoprodukcyjne	480	400,5	6,30	378	21,6	0,9			
	ziemiaki niskoprodukcyjne	480	400,5	5,76	342	21,6	36,4	35,5	5,3	0,6
	ziemiaki wysokoprodukcyjne	455	345,4	2,90	174	13,6	147,8			
20-31.VIII	ziemiaki niskoprodukcyjne	455	345,4	2,06	123,6	13,6	208,2	50,4	7,7	0,8

Gradient cieplny w zjawisku brzeżnym pola jest tym większy, im wyższy jest bilans cieplny B , im mniejsza jest odległość od linii brzegowej w głąb pola o mniejszej energii cieplnej h , im większe jest pole emisji cieplnej w stosunku do pola emisji m^2/n^2 , im dłuższy jest czas trwania gradientów t i im mniejsza jest szybkość wiatru v_w .

W celu lepszego zorientowania się w przebiegu stosunków termicznych podjęto próbę ustalenia bilansu cieplnego pola uprawnego, w warunkach promieniowania i parowania mieszanki wysokoprodukcyjnej i niskoprodukcyjnej w Borowej Górze w 1966 r. (rys. 1, tab. 2).

Tabela 2

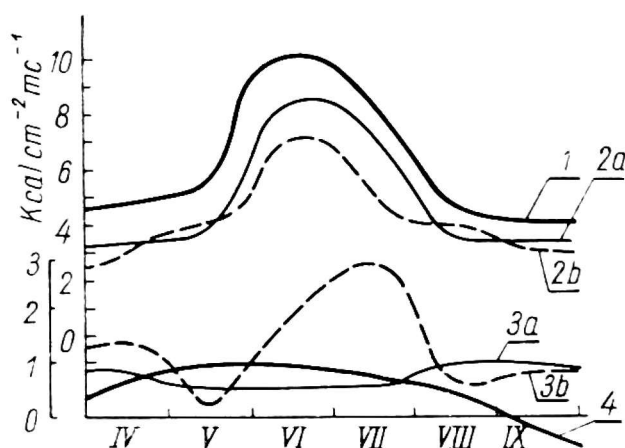
Bilans cieplny pola pod uprawą mieszanki ($\text{kcal cm}^{-2}\text{mc}^{-1}$). Borowa Góra, 1966 r.

Elementy składowe bilansu	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Suma
Mieszanka wysokoprodukcyjna							
Parowanie, mm	56,3	66,4	142,8	121,5	57,7	56,5	501,2
Ekwiwalent cieplny parowania	3,38	3,98	8,57	7,29	3,46	3,39	30,07
Wymiana ciepła z glebą	0,60	0,96	1,00	0,76	0,48	-0,32	3,48
Turbulencyjna wy- miana ciepła z atmosferą	0,85	0,51	0,53	0,54	0,98	0,92	4,33
Bilans radiacji	4,83	5,45	10,10	8,59	4,92	3,99	37,88
Mieszanka niskowydajna							
Parowanie, mm	48,5	68,8	119,5	82,7	65,6	55,9	441,0
Ekwiwalent cieplny parowania	2,91	4,13	7,17	4,96	3,94	3,36	26,47
Wymiana ciepła z glebą	0,60	0,96	1,00	0,76	0,48	-0,32	3,42
Turbulencyjna wy- miana ciepła z atmosferą	1,32	0,36	1,93	2,85	0,50	0,95	7,71
Bilans radiacji	4,83	5,45	10,10	8,59	4,92	3,99	37,88

Bilanse cieplne pozwoliły ustalić przedziały czasu, w których tworzyć się mogą gradienty cieplne na granicy obydwu pól.

W okresie do 3 dekady maja i od 2 dekady sierpnia nie było warunków do tworzenia się gradientów cieplnych na styku omawianych pól, ponieważ nie występują wówczas różnice w zużyciu ciepła na parowanie. Od 2 dekady czerwca do końca lipca występują duże różnice w zużyciu wody na parowanie i w efekcie powstają gradienty cieplne i efekty brzeżne na styku obydwu pól.

Wymiana ciepła z podłożem przyjmowała od początku września do-



Rys. 1. Próba ustalenia bilansu cieplnego pól mieszanki paszowej o różnej wydajności w Borowej Górze w 1966 r.: 1 — bilans radiacji, 2 — zużycie wody na parowanie mieszanki: a — wysokoprodukcyjnej, b — niskoprodukcyjnej, 3 — wymiana ciepła z atmosferą nad polem z mieszanką: a — wysokoprodukcyjną, b — niskoprodukcyjną, 4 — wymiana ciepła z podłożem

datnie wartości, gdyż gleba wydziela więcej ciepła, niż przyjmuje z promieniowania. Na uwagę zasługuje duży wzrost zużycia ciepła na ogrzanie atmosfery od połowy czerwca do początku sierpnia.

2. STOSUNEK DŁUGOŚCI OBWODU DO POWIERZCHNI LIZYMETRU

Im większa jest powierzchnia lizymetru tym krótsza stosunkowo linia brzegowa. Na każdy cm brzegowej linii lizymetru, np. o pow. 314 cm^2 przypada tylko 5 cm^2 powierzchni czynnej, podczas gdy w lizymetrach większych, o pow. $0,3 \text{ m}^2$ — $15,3 \text{ cm}^2$. Błąd brzegowy jest tym większy, im mniejsza jest powierzchnia czynna lizymetru.

W dużym lizymetrze o powierzchni 20 m^2 błąd brzegowy rozkłada się na większą powierzchnię; na każdy cm brzegu przypada $126,4 \text{ cm}^2$ powierzchni. W lizymetrze tej wielkości błąd zjawiska brzeżnego jest niewielki i można przyjąć, że wyniki pomiaru parowania w lizymetrze są w niewielkim stopniu zakłócone parowaniem otoczenia. W wyniku tych stwierdzeń powstało dążenie do ustalenia standardowych wielkości powierzchni ewaporometrów.

Błąd brzeżny oazy lizymetru o powierzchni $0,3 \text{ m}^2$ wynoszący 1 mm na dobę, w lizymetrze o pow. 20 m^2 zmniejsza się o 83 razy, osiągając wielkość $0,012 \text{ mm}$. Błąd brzeżny oazy lizymetru o pow. 200 cm^2 wynoszący 1 mm/dobę zmniejsza się trzy razy w lizymetrze o pow. 3000 cm^2 , osiągając $0,33 \text{ mm/dobę}$.

3. PORÓWNANIE PAROWANIA Z LIZYMETRÓW MAŁYCH I DUŻYCH

Porównanie parowania z lizymetrów różnej wielkości potwierdza przypuszczenie, że zjawisko brzeżne jest wyraźniej widoczne w lizymetrach małych niż w dużych. Badaniami porównawczymi parowania z lizymetrów GGI-500 i lizymetrów o powierzchni 1 m^2 bądź 2 m^2 zajmo-

wali się Glugla [3], Kortüm [8], Lützke [11], Olberts [11], Christiansen [2] i inni. Z badań tych wynika, że:

a) sumy okresowego parowania z małych lizymetrów są większe niż z dużych — $E_m > E_d$,

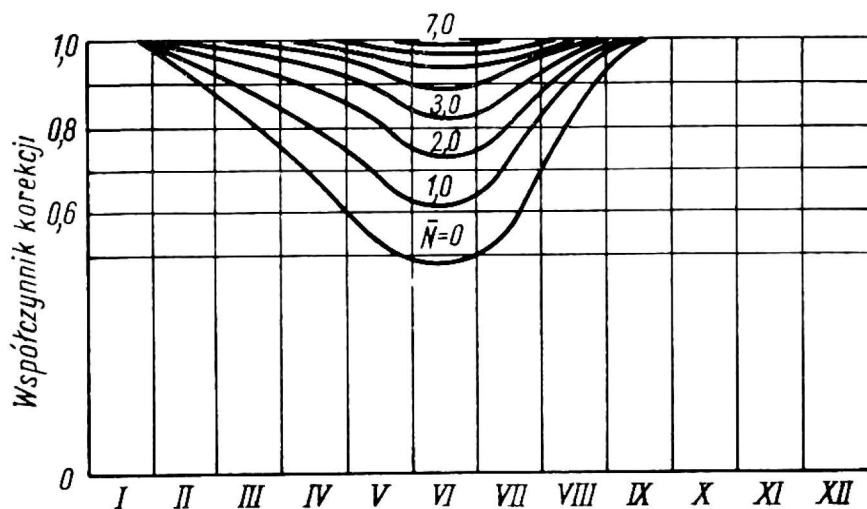
b) w okresie o dużych opadach i nasilonej szybkości wiatrów, a także niskiej radiacji, nie występuje zjawisko brzeżne i lizymetry małe nie wykazują zwiększonego parowania — $E_m = E_d$,

c) roślinność porastająca lizymetr najpierw rośnie szybciej niż roślinność otaczającego pola, a potem wolniej,

d) zjawisko wyższego parowania z lizymetrów małych wynika głównie z procesu gromadzenia się wody ponad sitem dna urządzenia, a w mniejszym stopniu ze zjawiska brzeżnego.

W znacznej liczbie dekad wietrznych nie występowały różnice w wysokości parowania pomiędzy polami o wysokim i niskim plonie, natomiast w innych dekadach zróżnicowanie było wyraźne i znaczne.

Występowanie dni bezopadowych, bądź o małych opadach, stanowiło podstawę do zaproponowania przez Gluglę [3] wielkości współczynnika redukcji (rys. 2). Opierając się na czynniku uwilgotnienia Konstantinow wyprowadza współczynniki korygujące wyniki parowania z małych lizymetrów, biorąc pod uwagę także temperaturę. Na przykład współczynnik redukcji wynoszący 0,95 w temperaturze $8,1^\circ$ ulega zmniejszeniu do 0,86 w temperaturze $20,5^\circ$.

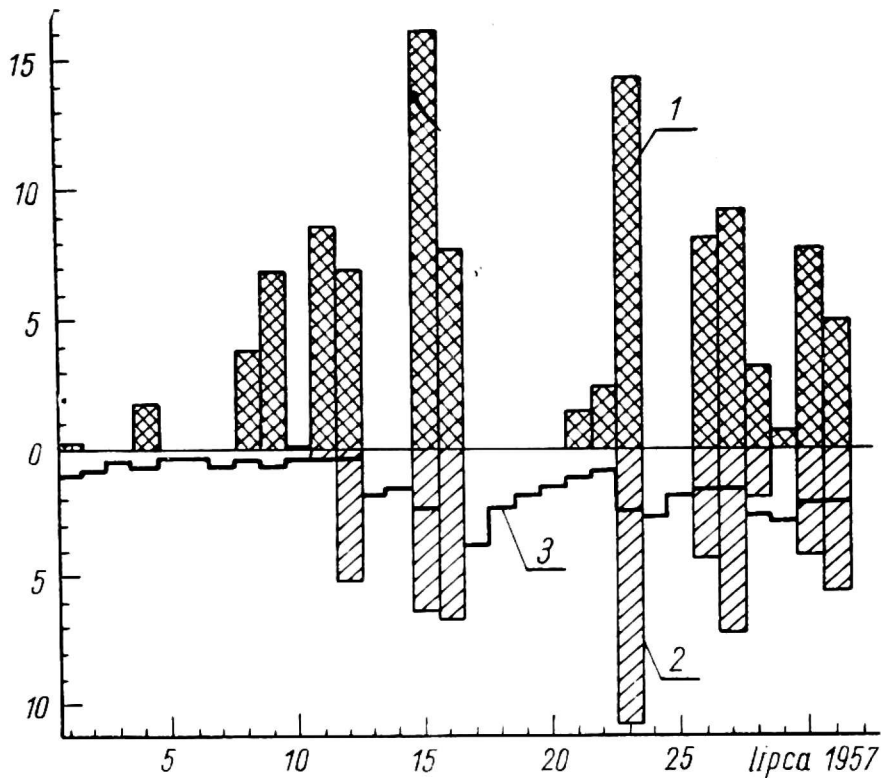


Rys. 2. Współczynnik przejścia (korekcji) z parowania z lizymetrów GGJ-500 na parowanie rzeczywiste pola, w zależności od dziennego opadu na wrzosowisku — wg Glugli [3]

Zwiększone parowanie z małych lizymetrów wpływa na zmniejszenie odpływu. Badacze niemieccy podjęli próby przedstawienia wzrostu zużycia wody na parowanie z małych lizymetrów na tle równania bilansu wodnego, łącząc zużycie ze zmianami w odpływach lub w zasobach retencjonowanej wody w glebie.

Na zmiany wielkości składowych elementów równania bilansu wodnego zwrócili uwagę Lützke, Glugla [3, 11] i inni. Jednakowe opady nie

wywołują jednakowych odpływów i jednakowych zmian zasobów retencji w glebie, gdyż inne jest parowanie. W małych lizymetrach, inaczej niż w dużych, kształtują się wielkości składowych bilansu wodnego. Szczególnie dotyczy to odpływów wody (rys. 3). Przesiąki w dużych lizymetrach są ciągłe, podczas gdy w małych są sporadyczne, choć duże, ale niezgodne z naturalnym rytmem, jaki istnieje w polu.



Rys. 3. Różnicowanie się podsiąku w zależności do wielkości lizymetru, w wyniku odmiennych bilansów wodnych — wg Mauraschata [11]: 1 — opady, 2 — podsiąk w lizymetrach małych, 3 — podsiąk w lizymetrach dużych

Z badań nad zmianami zasobów wody retencjonowanej w glebie lizymetru wynika, że wyczerpywanie się wody z obrzeży i ze środka lizymetru jest nierównomierne. Wiadomo ponadto, że zasoby wody wyczerpują się szybciej z lizymetrów małych niż z lizymetrów dużych i głębszych. Wynika to z procesów zasysania wody z dolnych warstw gleby przez pola ssania wytwarzane gradientami ciśnień ssania [3, 11].

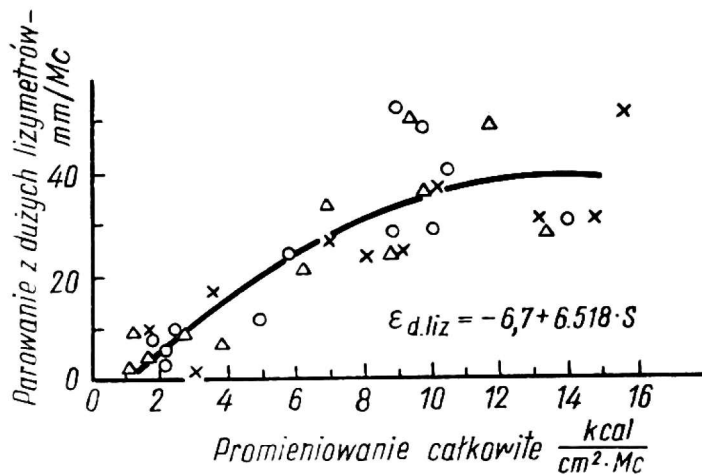
Tak liczne zmiany zachodzące w procesie formowania się bilansów wodnych w lizymetrach na skutek naruszenia jednego z elementów składowych — parowania — prowadzić muszą do poglądów, że poszukiwanie właściwych metod pomiarów parowania powinno zmierzać do wytwarzania w lizymetrach sytuacji nie różniących się od warunków parowania wolnego pola. Znane są metody korekt pomiarów parowania, ale nie ma systemu korekt pomiarów odpływów i zasobów retencyjnych. Zasadą współczesnej lizymetrii jest niedopuszczenie do tworzenia się procesów odmiennych niż te, jakie zachodzą na polu. Jedną z największych trudności przy pomiarach lizymetrycznych stanowi powstawanie nadziemnej oazy cieplnej. Znajac przebieg tego procesu można prowadzić badania

nad parowaniem w małych lizymetrach pod warunkiem całkowitego eliminowania błędu oazy.

W tym kierunku rozwija swe badania Lützke poszukując prawidłowości w parowaniu z lizymetrów dużych i małych. Wykrywa zależności zachodzące pomiędzy parowaniem z dużych lizymetrów a wartościami promieniowania całkowitego S (rys. 4). Doszedł on do ustalenia zależności typu kwadratowego:

$$E_d = -6,7 + 6,5 S - 0,24S^2. \quad [4]$$

Prawidłowość powyższa nie występuje w przypadku lizymetrów małych.



Rys. 4. Zależność pomiędzy parowaniem z dużych lizymetrów na ugorze a promieniowaniem całkowitym wg Glugli [3]: Δ , o , x — wyniki uzyskane w poszczególnych latach

Zjawisko oazy występuje szczególnie ostro wtedy, gdy konstruktorzy lizymetrów stosują zbyt szeroką krawędź, która stanowi powierzchnię nie parującą i w efekcie zwiększa błąd na skutek utworzenia się nie wypełnionej masą roślinną luki w przestrzeni wokół lizymetru. W następnej fazie, po wypełnieniu tej luki przez roślinność wychylającą się poza lizymetr, powstaje inny błąd — niezgodności czynnej powierzchni parującej z powierzchnią lizymetru.

4. ZMIANY BILANSÓW WODNYCH POD UPRAWAMI O RÓŻNEJ WYDAJNOŚCI

Dynamika uwilgotnienia gleby obok parowania wywołuje zmiany sił ssania. Rosną one wraz ze zmniejszaniem się uwilgotnienia gleby i zmniejszają się wraz z jego wzrostem. Układy uwilgotnienia gleby pod mieszanką wysokoprodukcyjną są inne niż pod mieszanką niskoprodukcyjną. Porównanie zmian w przebiegu uwilgotnienia gleby w czasie i przestrzeni pozwala na ustalenie zmian uwilgotnienia gleby w lizymetrze. Dopuszczenie do powstania zjawiska oazy prowadzi do wysuszenia gleby w lizymetrze i utworzenia się układu dynamiki uwilgotnienia odmiennego niż na otaczającym polu.

Na znaczne zmiany uwilgotnienia pod wpływem różnej wysokości pa-

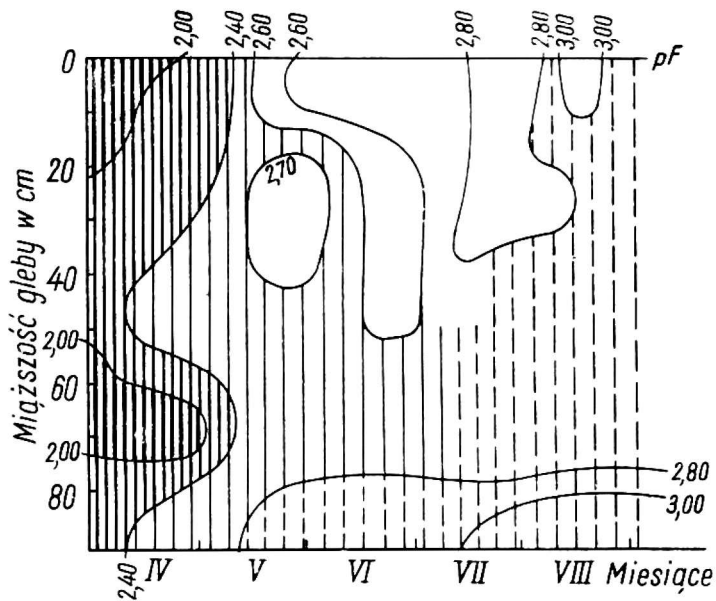
rowania gleby pod mieszankami nisko- i wysokoprodukcyjnymi wskazują badania w Borowej Górze w 1966 r.

W okresie IV-VII wysokoprodukcyjne pole zużyło z 50 cm warstwy gleby o 17 mm wody więcej niż pole niskoprodukcyjne, zmniejszając jednocześnie odpływy o 42 mm. Stwierdzenia te nie byłyby pełne, gdyby nie obraz układu sił ssących przedstawionych w tabeli 3 i na rysunkach 5 i 6.

Tabela 3

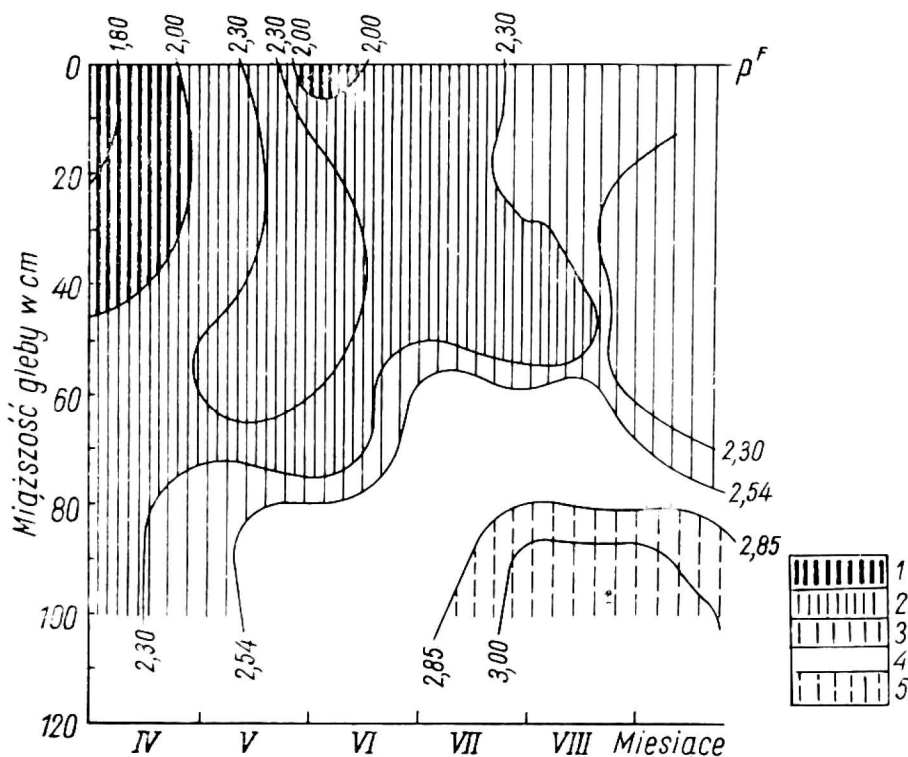
Dynamika uwilgotnienia gleb pod mieszankami wyrażona w pF
Borowa Góra, 1966 r.

Uprawa	Poziomy głębokości gleby	Okres letni	Okres jesienny
Mieszanka niskoprodukcyjna	I górny	2,3-2,4	2,3-2,54
	II dolny	2,6	2,3
Mieszanka wysokoprodukcyjna	I górny	2,6-2,8	2,8-3,0
	II dolny	2,6-2,7	2,7-3,0



Rys. 5. Dynamika uwilgotnienia gleby wyrażona za pomocą pF pod mieszanką niskoprodukcyjną w Borowej Górze w 1965 r.: 1 — silny odciek, pF do 2,00, 2 — średni odciek, pF 2,00-2,30, 3 — słaby odciek, pF 2,30-2,54, 4 — optymalne uwilgotnienie, pF 2,54-2,85, 5 — niedostateczne uwilgotnienie, pF 2,85-4,00

Jednym z zadań zmierzających do prawidłowości pomiarów parowania terenowego w lizymetrach jest dążenie do utrzymania dynamiki uwilgotnienia w lizymetrze i na polu w tych samych wielkościach sił ssania, wyrażonych w jednostkach pF.



Rys. 6. Dynamika uwilgotnienia gleby wyrażona za pomocą p^F pod mieszanką wysokoprodukcyjną w Borowej Górze w 1965 r. Oznaczenia jak na rys. 5

WNIOSKI

1. Nieświadomie popełniany błąd w pomiarach parowania z lizymetrów, wynikający ze zjawiska oazy cieplnej, może dochodzić do 20%. Błędu tego można uniknąć przez:

- przestrzeganie warunków wykluczających powstawanie błędu oazy,
- wprowadzenie współczynnika odpowiednio korygującego wyniki pomiarów.

2. Najczęstszymi przyczynami powstawania błędu oazy są:

- nieprzestrzeganie zasady stosowania powtórzeń, w tym większej liczbie, im mniejsze stosuje się czynne powierzchnie małych lizymetrów,
- nieprzestrzeganie zasady zwarcia roślinnej okrywy (m. in. zbyt szeroka krawędź lizymetru, wydeptanie ścieżki wokół lizymetru, szybszy wzrost roślinności na jednym z obiektów — na polu i w lizymetrze),
- wychylenie się liści poza granice powierzchni czynnej lizymetru,
- zmienność uwilgotnienia gleby w lizymetrze i na otaczającym polu, powstająca najczęściej przy stosowaniu zbyt płytkich lizymetrów.

3. Zjawiska oazy cieplnej występują w Polsce w sposób permanentny, ale nie ciągły. Szczególnie wyraźnie występują one w okresach o wysokiej radiacji, małych opadach i słabych prędkościach wiatrów. Nie występują w czasie pogody wietrznej i przy niskiej radiacji dziennej.

4. Brzeżne zjawiska cieplne wpływają silnie na błąd oazy cieplnej. Zjawiska brzeżnego można uniknąć przesuwając lizymetry w głąb pola uprawnego, przynajmniej o jeden metr od jego granicy.

5. Potrzeba zwiększania ilości wykonywanych pomiarów parowania w różnych warunkach, narzuca konieczność rozwijania prac badawczych

w tym zakresie. W związku z tym należałoby zbadać dokładniej przyczyny i warunki powstawania błędów wynikających ze zjawiska oazy cieplnej oraz ich wielkości i opracować korygujące współczynniki do wyników pomiarów parowania w lizymetrach, dla warunków gdzie mogą wystąpić zniekształcenia zjawisk cieplnych i stosunków wodnych w porównaniu z otoczeniem.

LITERATURA

1. Budyko M. J.: Isparenie w jestestvennykh usloviach. Leningrad 1948.
2. Christiansen J. E.: Para evaporation and evaporation. J. Irrig. Drain. Div. Evaporation, Meteorologie, Reservoirs. 7: 1968 s. 243-261.
3. Glugla G.: Erfahrungen mit dem Kleinlysimeter GGI-500. Mitt. Inst. f. Wasserw. 1965 z. 22, Berlin.
4. Sprawozdanie z badań Stacji Badawczej IGW w Borowej Górze za 1966 r. Warszawa 1967 IGW, maszyn.
5. Jurak D.: Próba określenia parowania rzeczywistego z powierzchni wody za pomocą pomiarów ewapometrycznych. Pr. PIHM 1968 z. 94.
6. Kaczmarek Z.: O dobowym przebiegu parowania z powierzchni wody. Prz. geofiz. 1960 z. 4.
7. Kalweit H.: Der Wasserhaushalt, Berechnungsverfahren und Anwendung auf Mitteldeutsche Flussgebiete. Berlin 1953.
8. Kortüm F.: Über den Wasserverrat in wägbaren Lysimetern und in vergleichbaren grundwasserfernen Sandstandorten des Norddeutschen Diluviums. Ass. Int. Hydroscient. Publ. 1959 nr 49 s. 38-42.
9. Kortüm F.: 30 Jahre Eberswalder Lysimetern. Vortrag um Feiern 150 Jahren Humboldt Univ. Inst. f. Meteor. Forstw. Eberswalde 1964.
10. Kortüm F.: Untersuchung des Wasserhaushaltes pleistozöner Böden mit Hilfe von Lysimetern. Geophysikalisches Inst. der Karl Marks Univ. Leipzig 1965.
11. Lütke R.: Über die Tauglichkeit der Lysimetermethode für Wasserhaushaltuntersuchungen und vergleichsmessungen mit Gross- und Kleinlysimetern. Besondere Mitt. zum Gewässerk. Jahrb. Berlin 4: 1965.
12. Paszyński J.: Bilans cieplny powierzchni czynnej jako wskaźnik klimatologiczny. Warszawa 1965. Kom. Inż. Gosp. Wodnej PAN i IGW — Sympozjum polsko-fran.
13. Zawistowski F.: Bilanse cieplne Żuław Gdańskich. Gdańsk 1969. Prez. WRN w Gdańsku. I Nauk. Sem. Żuławskie.
14. Zawistowski F.: Postęp w dziedzinie lizymetrii. Referat wygłoszony na seminarium poświęconym problemom lizymetrii. Warszawa 1966 IGW, maszyn.

Ф. Завистовски

ОАЗИСНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ В ИЗМЕРЕНИЯХ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ ИЗ ЛИЗИМЕТРОВ

Резюме

Величины эвапотранспирации в лизиметрах не отвечают эвапотранспирации с окружающего поля покрытого культурным растением в случае несоблюдения условий противодействующих образованию оазиса тепла. Знакомство терми-

ческих процессов и образующихся термических градиентов на стыке поля с лизиметром позволяет определить их действительные величины. Применение коэффициентов перехода результатов эвапотранспирации из лизиметра на эвапотранспирацию окружающего поля может способствовать значительному сокращению погрешности измерения. Следует помещать лизиметры ближе середины поля, вдали от полосы образования берегового явления, на стыке покрытого данной культурой поля с другим полем, средпольной дорогой и т.п., а с другой стороны не следует допускать к образованию промежутков в растительной массе на окраинах лизиметра и к ее исхождению за пределы активной площади обозначенной периметром лизиметра. Одним из факторов противодействующих образованию оазиса является удержание сходного водного режима в лизиметре и на культурном поле.

Оазисная погрешность тем выше, чем меньше площадь лизиметра, чем меньше его глубина и чем меньше пустых промежутков в растительной массе.

Приводятся примеры величины термических градиентов на стыке разных культур и исчислений береговой и оазисной погрешности проведенных в опытной станции Борова Гура в период 1964-1966 гг.

F. Zawistowski

OASIS ERROR IN EVAPOTRANSPIRATION MEASUREMENTS FROM LYSIMETERS

Summary

The values of evapotranspiration measured in lysimeters do not correspond with the evapotranspiration of the surrounding field with crop in case of non-observance of the conditions preventing the warmth oasis formation. The knowledge of thermic processes and thermic gradients forming at the contact of the given field and the lysimeter enables to determine their actual values. The application of transition coefficients of evaporation results from lysimeter into evapotranspiration of the surrounding field can contribute to a considerable reduction of the measurement error. The lysimeters should be placed near the middle of the field, far from the belt of forming border phenomena, the contact of the given field with crop and other field, farm road, etc. and on the other hand one must counteract the formation of gaps in the crop plant bulk at the lysimeter borders, and not admit protruding the vegetation beyond the active area limits defined by the lysimeter circumference. One of the factors counteracting the warmth oasis formation is the maintenance of similar water conditions in lysimeter and in the surrounding crop field.

The oasis error is the higher, the less is the lysimeter area, the less its depth and the fewer gaps in the vegetation bulk.

The examples of values of thermic gradients at the contact of different crops as well as of calculations of border and oasis error, carried out at the experimental station Borowa Góra in the period 1964-1966, are quoted.