УДК 551.501.8:551.576

Заболоцька Т.М., Кривобок О.А., Шпиг В.М.
Український гідрометеорологічний інститут
ДСНС України та НАН України, м. Київ

ВОДОРЕСУРСИ ФРОНТАЛЬНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ У ТЕПЛИЙ ПЕРІОД РОКУ

Ключові слова: *супутникові спостереження, фронтальні хмарні системи, одночасний водозапас, коєфіцієнт опадогенеруючої здатності, водоресурс.*

Вступ. У фронтальних хмарних системах, що супроводжуються сильними опадами, особливо інтенсивно діють механізми опадоутворення. Їх характер та інтенсивність весь час змінюються, тобто постійно змінюється енергетичний та водний баланс системи. Визначити ці зміни дуже складно, бо необхідні літакові чи дистанційні дослідження за спеціальною програмою. Тому використання супутникових вимірів мікрофізичних параметрів хмар з підвищеною частотою має важливе значення як для розуміння механізмів опадоутворення, так і для розроблення можливого впливу на них.

Досліджень водозапасу фронтальних хмарних систем виконано дуже мало, тому що для його розрахунку необхідні виміри водності хмар у вертикальному просторі атмосфери [2, 4, 6]. В [4] водозапас фронтальних систем оцінювали двома способами: а)визначали форму й товщину хмар за зондуванням на ст. Внуково та використовували відповідні архівні значення водності (досліджено 5 хмарних систем), б) за зміщенням дев′яти хмарних систем теплих фронтів фіксували шарувато-дощові хмари, тому брали відповідні цій формі хмар одні й ті ж значення водності та її розподіл по вертикалі, а кількість опадів визначали на мережі станцій, які перебували під безпосереднім впливом хмарних систем. В [6] оцінювали водозапас кожної із основних форм хмар окремо, використовуючи дані літакового зондування переважно в холодний період 1961-1963 рр. В [2] за даними літакового зондування атмосфери впродовж 25-ти років (1961-1985 рр.) над Експериментальним метеорологічним полігоном УкрГМІ було визначено водозапаси хмар різних форм, оцінено їх просторову мінливість. На прикладі шести фронтальних хмарних систем показано мінливість відновлення водозапасу під час випадіння опадів на території полігону в холодний період року.

Зараз велика увага приділяється супутниковій інформації. В [3] за порівнянням літакових та супутникових вимірів водозапасу в різних формах хмар показано, що супутникові виміри достовірні. Також слід зазначити, шо постійно вдосконалюється апаратура метеорологічних супутників для оцінки інтегральної вологості та водозапасу хмар [1].

Метою даного дослідження є визначення водозапасів, водоресурсів та втрат вологовмісту під час випадіння опадів різних градацій (особливо сильних) при проходженні фронтальних хмарних систем у теплий період року.

Методика дослідження. В даній роботі представлено результати визначення одночасного водозапасу за даними супутникових спостережень та розрахунків опадогенеруючої здатності й водоресурсів фронтальних хмарних систем у теплий період року. Розрахунки виконано для чотирьох синоптичних ситуацій, що спричинили небезпечно сильні опади на всій території України, а саме: 12-15 та 25-29 серпня 2012 р. й 25-31 травня та 26-30 червня 2015 р.

Загалом, **12-15 серпня 2012 р.** опади охоплювали всю територію країни (до аналізу залучено 82 станції), проте нерівномірно. Сумарна кількість коливалася від >100 мм на північному заході та півночі до ≤ 10 мм у південній частині Правобережжя та на сході. За 6 год випало ≥ 15 мм на 70% всіх станцій, ≥ 30 мм – на 30% станцій. Максимальне значення було 48 мм.

25-29 серпня 2012 р. опади фіксували на всій території, особливо сильними вони були на Лівобережжі. За 6 год випало від 10 до 30 мм, за весь час випадіння в окремих місцях до 100-125 мм.

25-31 травня 2015 р. опади були зливового характеру, іноді з градом. Загальна кількість змінювалася від 10 до > 90 мм На більшій частині території за 6 год випало від 11 до 25 мм, на окремих станціях – від 30 до 40 мм.

26-30 червня 2015р. дуже сильні зливи з градом спостерігали на Лівобережжі. На заході та півдні випадали короткочасні зливи, в центрі та особливо на сході вони були інтенсивними: загальна кількість становила від 35-40 до 100 мм, що перевищувало місячну норму, а максимальні значення за 6 год – в межах 25-45 мм.

Методика дослідження полягала у використанні двох джерел даних щодо кількості опадів (чотирьох строкові виміри впродовж доби та десяти хвилинні виміри плювіографом) та водозапасу хмарних ділянок (пікселів) щогодини на всій території України з деталізацією у просторі 10 х10 км за допомогою каналів у видимому спектрі супутника MSG [7].

Використання двох джерел щодо кількості опадів було зумовлено тим, що за строковими даними не можна точно визначити тривалість опадів та їх мінливість у часі, в той же час мережа встановлених на станціях плювіографів поступається своєю частотою. Слід також зауважити, що супутникові виміри водозапасу відбуваються тільки протягом світового дня. Для кожної синоптичної ситуації час, коли виміри водозапасу були унеможливлені, складав приблизно 50 % загальної тривалості опадів.

Загалом, за даними строкових й плювіографічних вимірів кількості опадів та відповідно одночасного водозапасу хмар були визначені такі показники: опадогенеруюча здатність, коефіцієнт опадогенеруючої здатності та водоресурси фронтальних хмарних систем. Опадогенеруюча здатність – це відношення кількості опадів до одночасного водозапасу, коефіцієнт опадогенеруючої здатності – опадогенеруюча здатність із урахуванням тривалості опадів, водоресурс – кількість води, перенесеної хмарами під час випадіння опадів, й розраховується за формулою

$$Q^{*}=3,6\ 10^{-3}\ P\ V\ T,$$

де Q* – водоресурс в т, P – водозапас в г/м^2, V – швидкість переносу в м/с, T – тривалість опадів в год.

Результати дослідження. Як приклад, наведемо розрахунок водозапасу фронтальних хмарних систем за даними чотирьох строкових вимірів кількості опадів для першої досліджуваної синоптичної ситуації 12-15 серпня 2012 р.

Сумарний водозапас фронтальних хмарних систем розраховували за кожні 12 год з 18 год 11 серпня до 18 год 15 серпня (8 розрахунків). Для цього будували карти розподілу опадів й визначали їх кількість (Q в тонах) на відповідній площі, окресленій ізогієтами з кроком 10 мм. На цих же площах оцінювали водозапас хмар (P), визначений за супутниковими вимірами та розрахований надалі також в тонах. Результати розрахунків представлені в табл. 1.

За отриманими даними можна зробити такий висновок – чітко прослідковується майже пряма залежність кількості опадів від величини

одночасного водозапасу. Аналогічні результати були і для фронтальних систем 25-29 серпня 2012 р., 25-31 травня та 26-30 червня 2015 р.

Таблиця 1. **Повторюваність (%) одночасного водозапасу хмар залежно від кількості опадів за даними строкових спостережень**

Опади, мм	Одночасний водозапас, г/м^2						
	600	400	270	150	70	35	17
≥ 40	33	34	33	-	-	-	-
≥ 30	14	36	36	14	-	-	-
≥ 20	-	11	44	44	-	-	-
≥ 10	-	-	6	59	35	-	-
<< 10	-	-	-	-	31	45	24

Плювіографічні дані фіксують тривалість дощу та зміни його інтенсивності кожні 10 хв, проте мережа станцій досить рідка. Загалом було використано для першої фронтальної системи виміри на 11 станціях, другої – на 10, третьої – на 6 і четвертої – на 5 станціях. Всього проаналізовано 45 випадків з дощем в світлу пору дня, переважно зливового характеру.

Всі 45 випадків з дощем за Настановою [5] можна класифікувати як сильні (17 випадків, 38 %), серед них 5 помірних та дуже сильні (28 випадків, 62 %), серед них 8 були особливо небезпечно сильні (наприклад, за 5 хв випало 9,3 мм, за 36 хв – 22,9 мм, за 2 год 10 хв – 65,7 мм та ін).

Супутникові виміри водозапасу визначали за градаціями (загальний обсяг від 0 до > 10000 г/м^2), а в кожній з них у певних межах, наприклад, 270-400 г/м^2. Всього 13 градацій. Відношення між межами нерівномірне, нижнє значення відносно верхнього становить від 47 до 67 %.

На рис. 1, як приклад, представлено зміни кількості опадів через кожні 10 хв 13 серпня 2012 р. на ст. Лубни. Впродовж 2-х год випало 23,8 мм. Кількість опадів за десяти хвилинні інтервали збільшувалася або зменшувалася у 6-10 разів в межах 1 год. Такий стан змін інтенсивності злив характерний всім випадкам. Зважаючи на те, що супутникові виміри виконуються щогодини, значення водозапасу визначали для обох меж кожної градації, але для розрахунків опадогенеруючої здатності, її коефіцієнта та водоресурсу вибирали одне значення залежно від інтенсивності опадів.

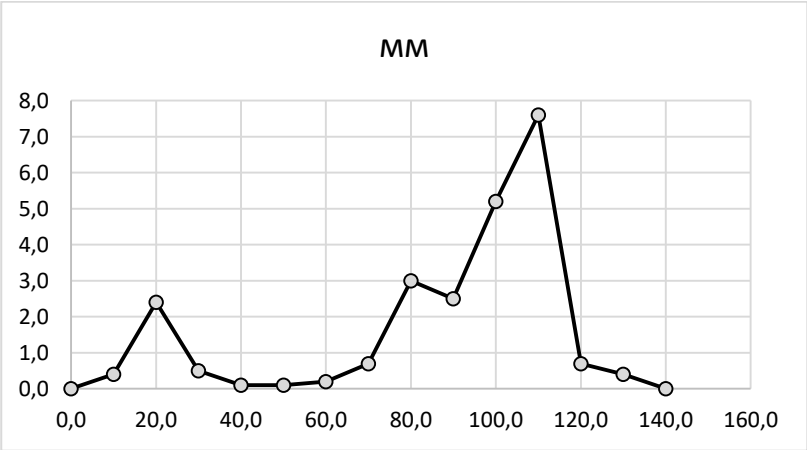

Рис. 1. **Зміни в часі кількості опадів за даними плювіографа на ст.Лубни 13 серпня 2012 р.**

Для всіх фронтальних систем діапазон (у градаціях) значень водозапасу коливався від ≤ 35 до 5000 г/м ^{2} . Найчастіше фіксували значення водозапасу 70, 150 г/м^2 (відповідно 28 та 31 %), майже втричі менше (14 %) відмічали 270 г/м^2, а хмари з водозапасом в межах 400-5000 г/м ^{2} фіксували всього по 3% від загальної кількості випадків (рис. 2, накопичена повторюваність).

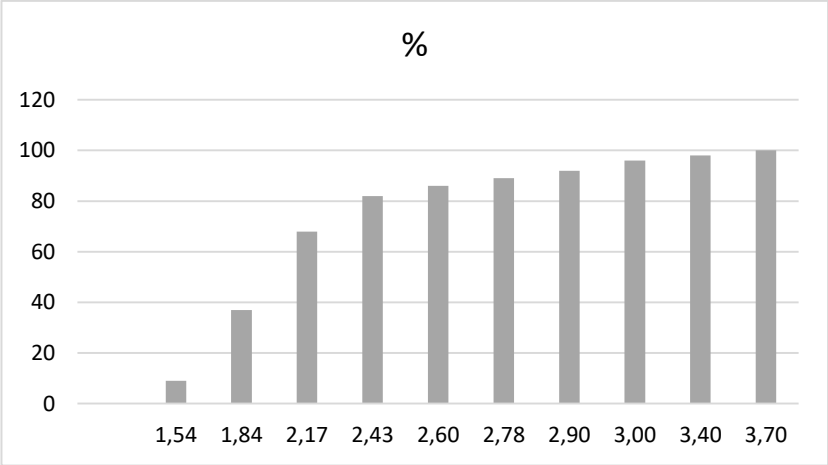

Рис. 2. **Накопичена повторюваність значень водозапасу у всіх фронтальних хмарних системах**

Надалі для кожного випадку з дощем були розраховані опадогенеруюча здатність (К) залежно від кількості опадів та коєфіцієнт опадогенеруючої здатності (К*). Розрахунки останнього були зумовлені тим, що не завжди можна було визначити щогодинну кількість опадів, тому враховували тривалість опадів, тобто коєфіцієнт – це приведені до 1год. значення опадогенеруючої здатності.

Розподіл опадогенеруючої здатності подібний до розподілу водозапасу, а саме, майже пряма залежність від кількості опадів. Більш показовими є дані щодо коєфіцієнта опадогенеруючої здатності К*, оскільки враховано кількість опадів та приведено до 1 год.

За кількістю опадів впродовж дощу дані були поділені на 4 групи: 0,1-5, 5,1-10, 10,1-20, >20 мм. Серед кожної групи були короткочасні та довготривалі дощі (дощі тривалістю ≤3 год – короткочасні). В першій групі було 9 випадків тривалістю від 0,3 до 2,3 год та 6 випадків більш тривалих дощів (від 4,2 до 16,3 год), відповідно значення К* склали 15 та 5. Дощі кількістю 5,1-10 мм мали тривалість 0,1-2,4 год в 4-х випадках й 7 випадків тривалістю від 3,2 до 6,3 год. Відповідні значення коєфіцієнта опадогенеруючої здатності складали 18 та 11. Випадків з дощем кількістю 10,1-20 мм було 10, 5 з них мали тривалість від 1,2 до 2,6 год і 5 – від 3,6 до 10,3 год. Отримали аналогічний результат, чим більша інтенсивність опадів, тим більший коєфіцієнт опадогенеруючої здатності, відповідно 15 та 12. Розглянемо останню групу, 9 випадків з дощем > 20 мм, 4 з них мали тривалість в межах 0,6 – 2,2 год, 5 випадків – від 7 до 9,3 год. Для першої підгрупи коєфіцієнт опадогенеруючої здатності склав 20, для другої підгрупи – 16. Тобто, чим інтенсивніші опади, тим вищий коєфіцієнт опадогенеруючої здатності, табл. 2.

Для кожної градації кількості опадів фіксували одну й ту ж закономірність а) більш інтенсивним дощам характерні більші значення коефіцієнта опадогенеруючої здатності, б) для довготривалих дощів зі збільшенням їх кількості зростає К*.

Водоресурс хмар (Q*), з яких випало 45 дощів, мав широкий спектр значень: від 1 до 97 т (накопичена повторюваність значень водоресурсу представлена на рис. 3).

Таблиця 2. **Коефіцієнт опадогенеруючої здатності залежно від кількості та тривалості опадів**

Q, мм	T, год	K*	n
0,1-5,0	0,3-2,3	15	9
	4,2-16,3	5	6
5,1-10	0,1-2,4	18	4
	3,2-6,3	11	7
10,1-20	1,2-2,6	15	5
	3,6-10,3	12	5
> 20	0,6-2,2	20	4
	7,0-9,3	16	5

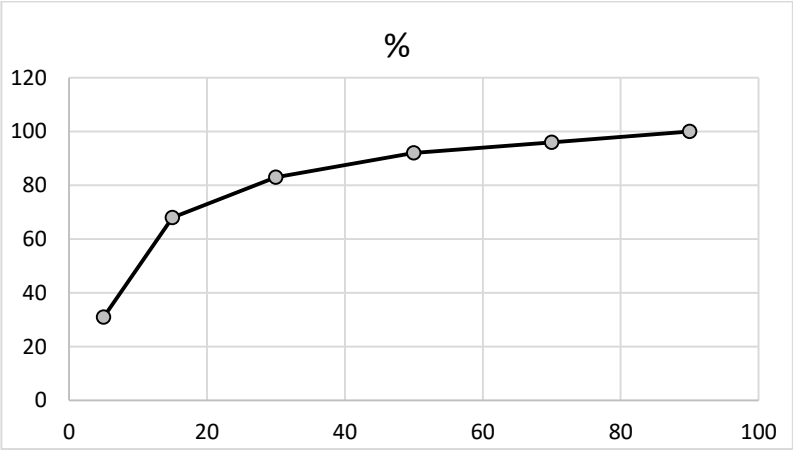

Рис. 3. **Накопичена повторюваність водоресурсу хмар**

Розподіл водоресурсів був таким: до 10 т – 31 %, від 11 до 20 т – 27 %, від 21 до 40 т – 25 %, від 41 до 60 т – 9 %, >60 т – 8 %.

В кожній з виділених підгруп за кількістю та тривалістю опадів фіксували різну швидкість переносу хмар, табл. 3.

Таблиця 3. **Водоресурс хмар (Q*) залежно від кількості, тривалості опадів та швидкості переносу хмар**

Q, мм	T, год	V_{mean}, м/с	Q*, т	n
0,1–5	0,3-2,3	8	7	9
	4,2-16,3	12	23	6
5,1–10	0,1-2,4	6	10	4
	3,2-6,3	9	14	7
10,1–20	1,2-2,6	8	31	5
	3,6- 10,3	10	33	5
>20	0,6-2,2	10	60	4
	7,0-9,3	8	40	5

Наведені дані свідчать, що майже для кожної підгрупи хмари з короткочасними дощами мали меншу швидкість переносу й менший водоресурс. Винятком є хмари з надзвичайно сильними короткочасними зливами (>20 мм/6 год), вони мали дещо більшу швидкість переносу й відповідно більший водоресурс.

Відновлення водозапасу було таким: 0,1 – 0,5 (53%), 0,51 – 1,0 (31%), > 1,0 (16 %). Загалом в межах 0,1 – 2,5.

Висновки. Вперше за даними супутникових спостережень визначено одночасний водозапас, опадогенеруючу здатність та водоресурс хмар, що зумовлюють сильні опади в теплий період року.

Чітко прослідковується майже пряма залежність кількості опадів, визначеної як за строковими, так і за даними плювіографів, від величини одночасного водозапасу.

Комплексний аналіз кількості та тривалості опадів й коєфіцієнта опадогенеруючої здатності свідчить: а) чим інтенсивніші опади, тим вищий коєфіцієнт опадогенеруючої здатності, б) для довготривалих дощів зі збільшенням їх кількості зростає коєфіцієнт опадогенеруючої здатності.

Водоресурс хмар, що супроводжуються короткочасними чи довготривалими опадами однакової кількості, залежить від швидкості переносу хмар – хмари з короткочасними дощами мають меншу швидкість переносу та менший водоресурс. Винятком є хмари, з яких випадають надзвичайно сильні опади, > 20 мм/6 год [5]. Якщо такі дощі короткочасні, їм характерна більша швидкість переносу й більший водоресурс.

Список літератури

1. *Асмус В.В., Загребаев В.А., Макриденко Л.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б., Фролов А.В., Хайлов М.Н.* Система полярно-орбитальных метеорологических спутников серии «Метеор-М». Метеорология и гидрология, 2014. № 12. С. 5-16. ***2.*** *Заболоцкая Т.Н., Кушнир В.С., Шпиталь Т.Н.* Водозапасы облаков различных форм и фронтальных облачных систем. Труды УкрГМИ, 1992. Вып. 243. С. 69-78. ***3.*** *Заболоцька Т.М., Кривобок О.А., Скриник О.Я., Шпиг В.М.* Верифікація супутникової інформації щодо мікрофізичних характеристик та верхньої межі хмар. Наук. праці УкрНДГМІ, 2016. Вип. 268. С. 24-33. ***4.*** *Мамина Е.Ф., Федоров Е.К.* О водном балансе облачной системы. Изв. АН СССР, 1957. № 5. Сер. геофизическая. С. 658-663. ***5.*** Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 56 с. ***6.*** *Пономаренко И.Н., Чавкина Г.А.* Водность и водозапасы фронтальных облаков над Украиной. Тр. УкрНИГМИ, 1966. Вып. 56. С. 50-66. ***7.*** *Kryvobok O.A.* Monitoring characteristics of young convective clouds using MSG data// Meteo-France, Toulouse. Visiting Scientist Report. – 30 January 2005. P. 49.

References

1. *Asmus V.V., Zagrebaev V.A., Makridenko L.A., Milehin O.E., Solovev V.I., Uspenskiy A.B., Frolov A.V., Haylov M.N.* Sistema polyarno-orbitalnyih meteorologicheskih sputnikov serii «Meteor-M». Meteorologiya i gidrologiya. 2014. № 12. S. 5-16. ***2.*** *Zabolotskaya T.N., Kushnir V.S., Shpital T.N.* Vodozapasyi oblakov razlichnyih form i frontalnyih oblachnyih sistem. Trudyi UkrGMI. 1992. Vyp. 243. S. 69-78. ***3.*** *Zabolotska T.M., Kryvobok O.A., Skrynyk O.Ya., Shpyg V.M.* Verifikatsiya suputnikovoi informatsii schodo mikrofizichnih harakteristik ta verhnoii mezhi hmar. Nauk. pratsi UkrNDGMI. 2016. Vyp. 268. S. 24-33. ***4.*** *Mamina E.F., Fedorov E.K.* O vodnom balanse oblachnoi sistemi // Izv. AN SSSR, 1957. № 5. Ser. geofizicheskaya. S. 658-663. ***5***. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 2. L.: Gidrometeoizdat, 1981. 56 s. ***6.*** *Ponomarenko I.N., Chavkina G.A.* Vodnost i vodozapasi frontalnih oblakov nad Ukrainoi // Tr. UkrNIGMI, 1966. Vyp. 56. S. 50-66. ***7.*** *Kryvobok O.A.* Monitoring characteristics of young convective clouds using MSG data// Meteo-France, Toulouse. Visiting Scientist Report. – 30 January 2005. P. 49.

Водоресурси фронтальних хмарних систем за даними супутникових спостережень у теплий період року

Заболоцька Т.М., Кривобок О.А., Шпиг В.М.

Визначено одночасний водозапас фронтальних хмарних систем, що супроводжуються сильними опадами, за даними супутникових спостережень та виконано відповідні розрахунки опадогенеруючої здатності й водоресурсів. Отримано пряму залежність кількості опадів від величини одночасного водозапасу та коєфіцієнта опадогенеруючої здатності. Водоресурси хмар, що супрводжуються короткочасними чи довготривалими опадами рівної кількості, залежать від швидкості переносу хмар – хмари з короткочасними дощами мають меншу швидкість переносу

та менший водоресурс. Винятком є хмари, з яких випадають надзвичайно сильні опади (>20 мм/6 год).

Ключові слова: *супутникові спостереження, фронтальні хмарні системи, одночасний водозапас, коєфіцієнт опадогенеруючої здатності, водоресурс.*

Водоресурсы фронтальных облачных систем по данным спутниковых наблюдений в теплый период года

Заболоцкая Т.Н., Кривобок А.А., Шпиг В.М.

Определен единовременный водозапас фронтальных облачных систем, сопровождающихся сильными осадками, по данным спутниковых наблюдений и выполнены соответствующие расчеты осадкогенерирующей способности и водоресурсов. Получено прямую зависимость количества осадков от величины единовременного водозапаса и коэффициента осадкогенерирующей способности. Водоресурсы облаков, сопровождающихся кратко или долговременными осадками равного количества, зависят от скорости переноса облаков – облака с кратковременными осадками имеют меньшую скорость переноса и меньший водоресурс. Исключением есть облака, из которых выпадают чрезвычайно сильные осадки (>20 мм/6 час).

Ключевые слова: *спутниковые наблюдения, фронтальные облачные системы, одновременный водозапас, коэффициент осадкогенерирующей способности, водоресурс.*

Liquid water content of frontal cloud systems estimated from satellite data during warm period of year

Zabolotska T.M., Kryvobok O.A., Shpyg V.M.

The instantaneous liquid-water content, water-generation ability, coefficient of the water-generation ability and water content of frontal cloud systems in the warm period of a year are defined from satellite data. The calculations have been done for four synoptic situations with strong precipitation over Ukraine in 2012 and 2015. The precipitation amount has been measured by rain gauges four times a day and by pluviograph every 10 minutes. The instantaneous liquid-water content has been estimated every hour from satellite data. It was considered 45 cases with rainy conditions: 5 cases with moderate precipitation, 12 cases with strong precipitation, 20 cases with heavy and 8 cases with extreme precipitation. The analysis shows that there is a strong correlation between an instantaneous liquid-water content and a precipitation amount measured by rain gauge and pluviograph. The compatible analysis of amount/ duration of precipitation and coefficient of the water-generation ability shows: a) the more intensive precipitation is related to higher value of the water-generation ability coefficient; b) long-term precipitation with high amount is corresponded to the higher values of water-generation ability coefficient. Water contents of frontal cloud systems with short or long-term precipitation of equal amount depend on cloud system speed – clouds with short-term precipitation have lower values of a speed and also the smaller water content. There is an exception when clouds with extreme short-term precipitation (>20 mm for 6 hours), the clouds move over surface with the higher speed and have the higher water content.

Keywords: *satellite observations, frontal cloud systems, water content, precipitation generation ability, water source.*

Надійшла до редколегії 27.09.2018

УДК 551.501

Швень Н.І., Митник Т.Г., Гальперіна Т.О., Герасименко І.В.
Український гідрометеорологічний інститут

УТОЧНЕННЯ МЕТОДИКИ КРИТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ НА ГЛИБИНАХ

Ключові слова: *температура ґрунту на глибинах, просторово-часовий контроль даних, профіль температури, нев'язка, градієнти температури.*

Вступ. Дані регулярних метеорологічних спостережень є основним матеріалом, на якому базується складання метеорологічних прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди і розрахунки кількісних характеристик метеорологічного режиму і клімату окремих територій [1].