

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

В.И. Осадчий, В.М. Волощук, В.А. Прусов, И.В. Будаков,
В.М. Шпиг, А.А. Кривобок, О.Я. Скринник

V.I. Osadchy, V.M. Voloshchuk, V.A. Prusov, I.V. Budakov,
V.M. Shpyg, O.A. Kryvobok, O.Y. Skrynyk

Система оперативного реагування на аварійні виброси шкідливої речовини в атмосфері

Operational emergency response system for accident atmospheric emissions

Обоснованы основные идеи относительно структуры, функциональных особенностей и алгоритма работы Системы оперативного реагирования на локальное загрязнение атмосферы вредной (токсичной для людей, фауны и флоры) газо-аэрозольной примесью при техногенных авариях на промышленных объектах или в результате природных (стихийных) катастроф. Это размышления сотрудников Украинского гидрометеорологического института (УкрГМИ) Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям и Национальной академии наук Украины, которые имеют опыт работы в областях моделирования глобальных и региональных атмосферных процессов, исследования физико-химической трансформации газо-аэрозольной примеси, моделирования переноса и диффузии атмосферных загрязнителей, дистанционного зондирования состояния приземной атмосферы. Проведен анализ возможностей УкрГМИ по созданию указанной Системы.

The article discusses the basic ideas concerning the structure, functionality and algorithm of the operational emergency response system for accident atmospheric emissions (toxic for humans, animals, and plants). The ideas presented here are speculations of a group of experts/scientists from the Ukrainian Hydrometeorological Institute (UHMI) who have rich experience with the modeling of global and regional atmospheric processes, studying physical and chemical transformation of atmospheric pollutants, modeling the transport and dispersion of atmospheric pollutants, and remote sensing of near-surface atmosphere. We have also assessed the capability of UHMI to create such a system.

Keywords: emergency, atmospheric pollution, contaminations, atmospheric transport and diffusion, emergency operational system.

Ключевые слова: техногенные аварии, газо-аэрозольная примесь, атмосферный перенос, атмосферная диффузия, загрязнение местности, оперативное реагирование.

УДК 551.576

С.К. Кудрявцева, Б.Н. Лёсков

РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧОГО ПРОЕКТУ ЗІ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗИМОВИХ ОПАДІВ В УКРАЇНІ

Узагальнено результати виробничого проекту, метою якого було збільшення кількості зимових опадів на площі 500 тис. га в Дніпропетровській області (1986-1994 рр.). Відносно збільшення опадів на мішені, порівняно з контрольним оточенням, в технологічно краще забезпечених сезонах (1987-1991 рр.) було в межах від 8,0 до 21,0 %. Цей результат отримано в умовах, коли реальна міра використання придатних для впливів ситуацій не перевищувала 30 %. За умови використання всіх ресурсів хмар збільшення сезонної суми опадів може досягти 43-56 % щодо кліматичної норми. Найбільший відсоток годин з придатними для збільшення опадів хмарами був під час переміщення західних (26,8 %), південно-західних і південних (39,7 %) циклонів.

Ключові слова: активні впливи, мішень, літак, реагент, штучне збільшення зимових опадів.

Вступ

Ідея активних впливів на атмосферні процеси виникла давно і причиною цього було бажання людей знайти засоби протидії багатьом стихійним явищам погоди. До таких можна віднести потужні грозові явища і пов'язані з ними гра-

добої, урагани, смерчі, зливи й повені, а також посухи, тривалі тумани тощо.

Науково обґрунтовані методи впливів на атмосферні процеси почали розвиватися в світі після того, коли Вегенер, Бергерон і Фіндайзен показали, що в процесі утворення опадів

у помірних широтах визначальну роль відіграє колоїдальна нестабільність у переохолоджених крапельних або змішаних за фазовим складом хмарах. Вона полягає в тому, що тиск насиченої водяної пари за від'ємної температури над плоскою поверхнею води більший, ніж над льодом [19, 22, 26]. Це призводить до того, що в переохолодженій хмарі ($t \leq 0^\circ\text{C}$), яка складається з крапель і кристалів (змішана фаза), краплі будуть випаровуватись (через недосичення водяної пари), а кристали будуть рости, поглинаючи водяну пару з навколишнього простору, бо тиск водяної пари буде більшим за те його значення, яке відповідає стану насичення над льодом. У результаті кристали збільшуються, досягають розмірів часток опадів (різних форм сніжинок, а також їх агрегатів, які можуть складатися з десятків і навіть сотень сніжинок) і випадають на землю.

Фізичний механізм Вегенера-Бержерона-Фіндайзена (ВБФ) лежить в основі всіх методів впливів на хмари. Якщо в переохолодженій хмарі розповсюдити зародки льодових кристалів, то вони, як і в природних умовах, почнуть рости, перетворюючись у частки опадів.

Варто відмітити, що вже в 1938 році В.Фіндайзен писав про можливість отримання штучного дощу з хмар, якщо ввести туди ядра сублімації. Він також першим висунув ідею, що таким чином можна боротися з градом.

Можна також згадати про експеримент Ферарта А.В., який ще в 1931 році отримав перший штучний дощ досконалим, за сучасного погляду, способом [24]. Він з літака вводив у переохолоджені хмари подрібнений двоокис вуглецю (CO_2). Незважаючи на цілком позитивний результат експерименту, Ферарт А.В. не зміг дати йому обґрунтоване фізичне пояснення, чим викликав невдовіру до такого методу впливу.

Ідеї Фіндайзена В. реалізували через 8 років після їх опублікування. Це сталося після випадкового відкриття Вінсента Шефера [23]. У 1946 році Шефер В. працював у лабораторії з холодильною камерою. Намагаючись переохолодити туман до можливо найнижчої температури, він у камеру вніс кусок твердого CO_2 . На його подив туман миттєво розсіявся. Повторні спроби підтвердили, що знайдено речовину, яка здатна переводити переохолоджений крапельний туман у кристалічний стан і його розсіювати. 13 листопада 1946 року Шефер В. здійснив експеримент у природі. Після засіву з літака переохолоджених високо-купчастих хмар (Ac) гранулами CO_2 було отримано зону кристалізації, а під нею наземні спостерігачі відмітили смуги падіння снігу.

У тому ж 1946 році Воннегат В. знайшов

новий реагент. Він встановив, що часточки йодистого срібла (AgI) після введення в переохолоджений туман (за температури нижчої ніж мінус 5°C) здатні ставати льодовими ядрами [25].

Таким чином, уже в кінці 1946 р. було відкрито речовини, які належать до двох класів реагентів: холодореагентів (твердий CO_2 , температура поверхні якого близька до мінус 96°C) і речовин, кристалічна структура яких ізоморфна льоду. Пізніше, як холодореагент, стали використовувати рідкий азот і пропан, температура поверхні яких відповідно становить мінус 196°C і мінус 40°C , а із речовин, ізоморфних льоду – йодистий свинець (PbI_2), сірчану мідь (CuS), флороглюцин та інші.

Однак найбільшого поширення в практиці впливів на переохолоджені хмари та тумани набули твердий CO_2 (згодом розширювалось і використання рідкого азоту – N_2) та йодисте срібло (AgI).

Але треба мати на увазі той фізичний факт, що інтенсивність перегонки води з крапель на кристали залежить від температури. Різниця тисків насичених парів над водою і льодом за температури 0°C дорівнює нулю. Процес штучної кристалізації за від'ємних температур, близьких до 0°C (мінус 3° – 0°C), йде повільно. Тому існує поняття: температурний поріг ефективної дії реагенту. Для холодореагентів – це мінус 4°C , а, наприклад, для йодистого срібла – мінус 7°C .

Після відкриття кристалізуючої дії реагентів у багатьох країнах світу почали проводити різноманітні експерименти із впливів на переохолоджені хмари та тумани. Визначено і основні вектори досліджень:

1. Впливи на хмари різних типів з метою збільшення (регулювання) опадів;
2. Модифікація потужних грозових купчато-дошових хмар з метою запобігання градовим процесам;
3. Розсіювання переохолоджених хмар та туманів над аеродромами та іншими об'єктами.

Проводились теоретичні та експериментальні дослідження і в інших напрямках, але найбільші практичні результати було отримано в ході вирішення перших трьох проблем: збільшенні кількості опадів, придушенні градових процесів і розсіюванні переохолоджених хмар та туманів. У цих напрямках найінтенсивніші експериментальні й теоретичні дослідження проведено в США, СРСР (зокрема в Україні), Китаї, Франції, Італії, Ізраїлі, Мексиці, Югославії. Зараз впливи на атмосферні процеси з різною метою проводяться в 48 країнах світу.

В Україні дослідження в галузі активних

впливів розпочалися в 1959 р. після створення Експериментального метеорологічного полігону (ЕМП) [17]. Науково-методичне керівництво ЕМП здійснював у Дніпропетровську Відділ експериментальних досліджень (ВЕД), який адміністративно підпорядковувався Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституту (УкрНДГМІ). Офіційною датою початку роботи ЕМП вважається 27 травня 1959 р. – день першого вильоту і впливу на конвективну потужно-купчасту хмару (Cu cong). У вершину хмари було скинуто 5 кг подрібненого твердого CO₂ і було отримано перший на ЕМП штучний дощ. Льотні роботи на ЕМП проводили в теплу й холодну пори року. Роботи в зимовий період розпочалися під керівництвом Г.І. Перельота та М.П. Леонова. Їх мета – розробити методику збільшення зимових опадів. Перше узагальнення результатів цих робіт здійснено в 1967 р. [4]. Надалі роботи було продовжено під керівництвом І.П. Половини (внутрішньомасові хмари) і Б.Н. Лескова (фронтальні хмари). Велику увагу при цьому приділено розробці методичних питань і дослідженню міри придатності зимових хмар для впливів [1, 2, 5, 6, 8, 11-13].

Аналіз результатів експериментів, проведених у 1961-1970 рр. під час впливів на зимові фронтальні хмарні системи Ns-As, показав, що можливе відносне збільшення кількості опадів із цих хмар може становити 33-35 % [9]. Впливи на зимові внутрішньомасові шаруваті хмари (Sc, St, Ac), що не дають природних опадів, можуть збільшити їх сезонну суму на 5-10 % на одній п'ятій території України або на 1-2 % в перерахунку для всієї території країни [16]. Ще на 2-3 % можна збільшити кількість зимових опадів, проводячи впливи на хмарні системи “сухих” фронтів, що не дають природних опадів [7]. Крім того, уточнення фізичних критеріїв придатності дещо розширило сукупність фронтальних хмар, з яких можна отримати штучні опади [2]. Це дає підстави для твердження, що впливи на всі зимові, придатні для впливів хмари, можуть збільшити сезонну суму опадів на 37-40 %. А додаткові тверді опади сприяють кращій перезимівлі озимини [10] і позитивно впливають на довкілля [14].

Було також показано, що збільшення опадів зафіксовано в смузі, протяжність якої відповідає 2-3 годинному переносу (80-120 км) [6].

Такі висновки дають підстави для організації виробничих проектів зі збільшення зимових опадів. Першим етапом для підготовки такого проекту була серія напіввиробничих експериментів 1974-1980 рр. (крім 1977-1978 рр. – через технічні причини), коли регулярні засіви хмар проводили

тільки в січні. Відносне збільшення кількості місячних сум опадів на мішені (круг, діаметр 20 км, площа 31,4 тис. га) порівняно з шаром опадів на навколишній території, на якій природні опади не були модифіковані впливами, у ці роки було в межах від 29 до 63 %. Найбільший відсоток використання придатних для впливів ситуацій був у 1974 і 1975 рр. (63 % і 43 % відповідно). Тоді ж було досягнуто і найбільших значень відносного збільшення місячних сум опадів (63 % і 41 %).

Однак у 1974-1976, 1979 і 1980 роках більшість ситуацій з придатними для впливів умовами було пропущено. За умови використання всіх (100 %) ситуацій відносне збільшення опадів у січні було б таким: 1974 – 100 %; 1975 – 97 %; 1976 – 39 %; 1979 – 46 %; 1980 – 45 %. Але в січні 1974 і 1975 рр. суми природних опадів становили відповідно 13,2 мм і 13,8 мм, тобто лише близько 32 % від кліматичної норми опадів за січень (42 мм – розрахунок за період 1961-1990 рр.). Значить, щодо кліматичної норми в 1974 і 1975 рр. збільшення опадів становило б відповідно 26 і 30 %. У 1976, 1979, 1980 рр. збільшення кількості січневих опадів щодо норми могло б становити: 1976 р. – 60 %; 1979 р. – 76 %; 1980 р. – 57 %. Тобто виконується умова: більше природних опадів – більше й штучних опадів.

Таким чином, результати січневих експериментів підтвердили висновки наукових досліджень про можливість значного збільшення опадів шляхом застосування технологій активного впливу.

Першу спробу проведення сезонного зимового експерименту було зроблено в 1980-81 рр. Вона виявилась не зовсім вдалою, тому що замість 4-х літаків виконавці мали лише один. Із таким забезпеченням відсоток використання придатних для впливів ситуацій не міг перевищувати 20 %, оскільки діаметр мішені площею 500 тис. га становив 80 км, а один літак може забезпечити лінію впливу довжиною не більше ніж 20 км. За цих умов було отримано збільшення опадів на 3,2 % (у грудні, січні) і на 12-18 % (у лютому) [18]. Ясно, що незначні відсотки для першої фази зими пов'язані з великими пропусками хмарних масивів та іншими технічними причинами.

Регулярні виробничі роботи для збільшення зимових опадів було розпочато в 1986 р. Нижче буде розглянуто їх результати.

Мета цієї роботи – оцінити кількісні результати першого українського виробничого проекту зі збільшення зимових опадів на площі 500 тис. га в зоні недостатнього зволоження на території України.

Матеріали й методи дослідження

У роботі використано експериментальні дані льотних робіт, виконаних у зимові сезони 1986-1994 рр. науково-технічним персоналом Дніпропетровської окремої воєнізованої частини із впливів на гідрометеорологічні процеси (ДОВЧ). Впливи на фронтальні і внутрішньомасові хмари здійснювались з літаків Ан-30, Ан-26 і Іл-14. Розрахунок схеми польотів, обробка матеріалів і визначення кількості додаткових опадів проведено відповідно до методичних розробок, опублікованих у [5, 6, 9, 11, 13, 15]. Схема польотів літаків і координати лінії впливу контролювались диспетчерським радіолокатором ЕКРАН-Д. Спостереження за полями фронтальних і внутрішньомасових хмар та зонами (смугами) штучних опадів виконували двохвильовим (3,2 см і 10,0 см) радіолокатором МРЛ-5 із вимірюванням кількості природних і штучних опадів.

За даними спостережень опадомірної мережі ЕМП складала півдобові і добові карти опадів. Під час обробки показаних на картах даних про кількість опадів розраховували місцезнаходження зони випадіння штучних опадів і контрольних зон, в яких природні опади не були модифіковані впливами. За відповідними формулами обчислювали кількість додаткових опадів як різницю їх в зоні впливу та контрольному оточенні: абсолютна (в мм) і відносна (у %) [5, 13, 15]. Підсумовуванням результатів півдобових розрахунків обчислювали кількість додаткових опадів (у мм і %) за місяць і сезон.

У процесі виконання виробничих робіт із збільшення кількості опадів досліджували також міру придатності синоптичних ситуацій для активного впливу. Для цього зіставлено тривалості періодів, коли в хмарних системах за температури мінус 4 °С і нижче були прошарки з крапельною та змішаною фазою і коли в хмарах таких прошарків не було (кристалічні хмари або крапельні з $t \geq -3$ °С).

1. Аналіз результатів робіт

1.1. Робоча мішень

Завданням виробничого проекту було збільшення кількості зимових опадів (січень-березень, листопад, грудень) у західній частині Дніпропетровської області (Україна) на площі 500000 га. Це і була робоча мішень проекту. Вона мала форму кола діаметром 80 км. Центр мішені був біля селища Софіївка, адміністративного центру Софіївського району.

1.2. Деякі зауваження до організації й матеріального забезпечення робіт

Перед тим, як перейти до розгляду результатів, отриманих у ході реалізації проекту зі збільшення зимових опадів, необхідно зробити низку зауважень. По-перше, відмітимо, що сам процес реалізації алгоритму (послідовності операцій) проведення робіт із збільшення зимових опадів у межах визначеного проекту вимагав виконання багатьох умов. Для цього, насамперед, мала бути створена відповідна інфраструктура, тобто матеріально-технічна база, що забезпечує виконання необхідних робіт. Це передбачає наявність необхідної кількості літаків, які можуть забезпечити безперервну роботу по засіву хмар (зміна ланок літаків на лінії впливу). Зауважимо, що площа 500 000 га (5000 км²) вимагає одночасного використання на лінії впливу 3-4 літаків (залежно від швидкості вітру й технічних характеристик літаків). За тривалого синоптичного процесу кожні 3-4 год ці літаки мають відлітати на базу (через ліміт пального і вимоги техніки безпеки), а їх позиції повинна зайняти наступна ланка літаків. Виходить, що для повного забезпечення таких робіт необхідне угруповання літаків чисельністю не менше ніж 12 одиниць. У нас такого забезпечення не було. Максимальна кількість літаків, які були в розпорядженні виконавців робіт, не перевищувала двох-трьох одиниць.

До інфраструктури, яка забезпечує проведення робіт, входили також радіолокаційний комплекс (метеорологічний радіолокатор МРЛ-5, диспетчерський радіолокатор для супроводу літаків ЕКРАН-Д та радіолокатор, який забезпечує випуски радіозондів), радіопривід, пункт радіозондування, метеостанція, радіостанція, автотранспорт. Організовується також безперебійне постачання реагентів (твердий СО₂ і піропатрони з AgI). Для забезпечення робіт усіх цих підрозділів необхідні пілоти та інший обслуговуючий авіаційний персонал, висококваліфіковані працівники в галузі активних впливів, бортспостерігачі й бортоператори з обслуговування літакової вимірювальної апаратури й засобів впливу, а також спеціалісти в галузі радіоелектроніки (обслуговування радіолокаторів), радисти, метеорологи, аерологи, водії, робітники. Важливим є також оперативне й ефективне планування вильотів літаків (за добу до вильоту) і роботи всіх служб, які забезпечують активні впливи. Це все планувалося на основі синоптичних прогнозів. Рішення про виліт приймали за дві години до нього. Тоді ж давалася вказівка на підготовку до роботи всіх підрозділів, які забезпечують проведення робіт.

Як бачимо, реалізація проекту зі збільшення опадів на наперед визначеній території є надзвичайно складним завданням. Воно передбачає наявність необхідного за чисельністю контингенту висококваліфікованих виконавців, повного матеріально-технічного забезпечення й бездоганної організації виконання складного алгоритму науково-технічних робіт.

Насамкінець зауважимо, що робота наземного комплексу й процес постачання реагентів були, загалом, задовільними. Що стосується забезпечення літаками-метеолобораторіями й льотними екіпажами, то воно було абсолютно недостатнім.

1.3. Характеристика синоптичних процесів і тривалість умов, придатних для впливів

У процесі виконання проекту зі збільшення опадів постійно проводився моніторинг аеросиноптичних ситуацій, в яких відбувались польоти і впливи на хмари. Це необхідно для виявлення синоптичних процесів, що обумовлюють найсприятливіші для активних впливів ситуації. Важливе також визначення проміжків часу, протягом яких спостерігаються хмарні системи, придатні для активних впливів.

Нагадаємо, що фронтальні хмарні системи Ns-As, з яких випадають опади, вважаються придатними для впливів, якщо в них є крапельні або змішані за фазовим станом (краплі плюс криста-

ли) прошарки, температура яких становить мінус 4°C або нижче [2, 15]. Ці прошарки можуть бути будь-якої товщини (від 50 м і більше). У розвинутих системах Ns-As-Cs змішані за фазовим станом прошарки можуть бути не суцільними, їх кількість можна оцінити в балах (від 1 до 9). Для внутрішньомасових хмар Sc, St, Ac критерії придатності дещо інші: крапельна фазова структура, температура мінус 4°C або нижче, товщина 500 м або більше, сумарний водозапас 30 г/м² і більше, тривалість знаходження в зоні впливу 3 години і більше, висота нижньої межі (для Sc, St) не більше ніж 1000 м [2, 15, 16].

Інформацію про синоптичні процеси й міру придатності метеорологічних умов для штучного збільшення опадів наведено в табл. 1. Розглянемо, насамперед, синоптичні процеси. Фронтальні хмари, з яких випадають опади в холодний період року, утворюються в зоні дії циклонів. Саме хмари теплих, холодних і фронтів оклюзії є основними об'єктами впливу з метою збільшення опадів. У перших регулярних січневих напіввиробничих експериментах у 1974 і 1975 рр. впливи на фронтальні хмари дали більше ніж 80-95 % додаткових опадів. У 1976, 1979 і 1980 рр., коли синоптичні умови визначались інтенсивнішими фронтальними процесами, додаткові опади від активних впливів на системи Ns-As становили 100 %, 97 % і 80 % від загальної суми штучних опадів. Таким чином, внутрішньомасові хмарні поля Sc, St, Ac,

Таблиця 1

Розподіл синоптичних процесів і тривалості умов, придатних для штучного збільшення кількості опадів (1986-1994 рр.)

Синоптичний процес	Кількість синоптичних процесів				Кількість днів			Тривалість, години			\bar{T}_{cn} , год
	n	%	Придатні умови		n	Придатні умови		n	Придатні умови		
			n	%		n	%		n	%	
Північно-західні циклони	166	24,3	126	75,9	489	201	41,1	7354	1254	17,1	15,0
Західні циклони	73	10,7	53	75,6	217	97	44,7	3066	822	26,8	14,1
Південно-західні і південні циклони	99	14,5	78	78,8	301	174	57,8	4340	1723	39,7	14,4
Малоградієнтне поле	83	12,2	21	25,3	165	35	21,2	2563	268	10,5	15,5
Європейський антициклон	150	22,0	31	20,7	451	51	11,3	7814	364	4,7	17,3
Сибірський антициклон	33	4,8	9	27,3	95	29	30,5	1862	299	16,1	19,6
Сідловини, виступи антициклонів	79	11,5	8	10,1	140	11	7,9	1797	120	6,7	12,8
Усі циклони	338	49,5	257	76,0	1007	472	46,9	14760	3799	25,7	14,7
Інші процеси	345	50,5	69	20,0	851	126	14,8	14036	1051	7,5	16,5
Усі процеси	683		326		1858	598	32,2	28796	4850	16,8	15,5

Примітки: n – кількість синоптичних ситуацій, днів або годин; \bar{T}_{cn} – середньодобова тривалість (години) синоптичних процесів, які впливали на район робіт.

навіть на обмежених територіях, можуть дати не більше ніж 10 % від суми додаткових опадів і, як об'єкт впливу, можуть мати лише допоміжне значення.

Із даних табл. 1 видно, що за досліджуваній період (1986-1994 рр.) спостерігалось 683 синоптичні ситуації. Із них вплив циклонів було зафіксовано в 338 випадках (49,5 %) і 345 разів (50,5 %) над районом робіт були антициклони, їх виступи, сідловини та малоградієнтні поля.

Найбільший інтерес викликає розгляд циклонічних ситуацій, з якими пов'язано утворення фронтальних хмар (Ns-As) – основних об'єктів впливу. Найчастіше на район робіт впливали північно-західні (“пірнаючі”) циклони (166 випадків або 24,3 % щодо всіх ситуацій). При цьому хмари з фізичними параметрами, які відповідають умовам придатності для впливів, були в 126 випадках (75,9 %). Зауважимо, що до придатних для впливів належали ситуації (циклони) безвідносно до номінальної тривалості умов (кількості годин). Наприклад, у фронтальній системі циклону могли бути хмарні поля, придатні для впливу, які спостерігалися в зоні робіт протягом п'яти годин. В іншому циклоні такі хмари теж були, але спостерігались лише протягом однієї години. В обох випадках ситуації (циклони) вважались придатними для впливів, хоча їх абсолютна нерівнозначність цілком очевидна.

Вплив північно-західних циклонів простежувався протягом 489 днів, а придатні для впливів хмари – протягом 201 дня (41,1 %). Як видно, відсоток придатності, порівняно з оцінкою за кількістю ситуацій, знизився майже вдвічі. Пояснюється це тим, що одна ситуація, зарахована до групи придатних для впливу, діяла протягом двох або й трьох діб, але період з придатними хмарами був коротким (кілька годин) і міг спостерігатись у межах лише однієї доби.

Але найбільшою мірою придатність ситуації для впливу характеризує її номінальна тривалість, тобто кількість годин із хмарами, які мають параметри, що відповідають критеріям придатності. Таку інформацію наведено в колонках 9-11 табл. 1. Вплив північно-західних циклонів фіксувався протягом 7354 годин. Придатні для впливів умови спостерігали протягом 1254 годин (17,1 %). Як бачимо, проти добової оцінки відсоток придатності знизився. Це пояснюється тим, що тривалість існування придатних для засіву хмар, як правило, завжди була меншою за тривалість доби. Загалом про північно-західні циклони можна сказати, що умови для впливів у цих синоптичних ситуаціях траплялись дуже рідко.

Західні циклони зафіксовано в 73 випадках

(10,7 %). Умови для впливів були в більшості цих циклонів (53 випадки або 75,6 %). Кількість днів, коли західні циклони впливали на район робіт, становила 217, а придатні для робіт умови траплялись протягом 97 днів (44,7 %), що на 3,6 % більше, ніж у північно-західних циклонах (41,1 %). Західні циклони впливали на район робіт протягом 3066 годин, а хмари, що відповідали критеріям, були протягом 822 годин (26,8 %). Щодо північно-західних циклонів, то це на 9,7 % більше. Таким чином, західні циклони були сприятливішими для впливів, ніж північно-західні.

У 99 випадках (14,5 %) спостерігали вплив південно-західних і південних циклонів. Із них 78 (або 78,8 %) мали умови, придатні для впливів, табл. 1. При цьому за досліджуваній період вплив цих циклонів відмічено протягом 301 доби, із них 174 доби були з придатними для засівів хмарами (57,8 %). Кількість годин, коли спостерігали вплив цих синоптичних ситуацій, досягала 4340, із них придатні для засівів хмари – протягом 1723 годин (39,7 %).

Наведені дані дають підстави для висновку, що найсприятливіші умови для штучного збільшення опадів у холодний період року спостерігаються під час виходів південно-західних і південних циклонів.

Однак хмарні системи, зокрема такі, із яких випадали опади (Ns-As), утворювались також за інших синоптичних ситуацій: у малоградієнтних полях і сідловинах. Хмарні системи, придатні для впливу, спостерігали також у гребенях Європейських, що утворились у зоні впливу виступів Азорських антициклонів або над північно-західною Європою (Англія і Скандинавія) і Сибірських антициклонів. До речі, під впливом антициклоніальних полів утворювались, в основному, хмари шаруватих форм (Sc, St), що не давали природних опадів.

Із даних видно, що 20 % цих синоптичних процесів спричиняли утворення хмарних систем, придатних для впливів (у табл. 1 – “інші” процеси), з коливаннями від 10,1 % до 27,3 % у різних ситуаціях. Видно, що це майже в три-чотири рази нижча міра придатності для впливів порівняно з циклонами (76,0 %). Оцінка за кількістю днів для “інших” процесів показує, що придатні умови спостерігали в 14,8 % діб, з коливаннями від 7,9 до 30,5 %, що суттєво нижче, ніж у циклонах (41,1 % - 57,8 %). Погодинна оцінка виявила ще нижчий відсоток придатності – 7,5 %, з коливаннями для різних процесів від 4,7 % до 16,1 %, що більш ніж у три рази менше, ніж у циклонів (середнє – 25,7 %, з коливаннями від 17,1 до 39,7 %).

Звернемо увагу на середньодобову тривалість (\bar{T}_{cn}) різних синоптичних процесів, які впливали на район робіт (колонка 12), табл. 1. З наведених даних видно, що числові значення величини \bar{T}_{cn} у більшості циклонічних процесів коливались у незначних межах (14,1-15,0 годин). Загалом середньодобова тривалість впливу циклонічних ситуацій дорівнювала 14,7 год, а для “інших” процесів це значення становило 16,5 год (з коливаннями від 12,8 до 19,6 год). Для всіх же процесів значення \bar{T}_{cn} досягало 15,5 год.

А тепер зробимо одне важливе зауваження. Наведені вище дані не є повною кліматичною вибіркою. Вони стосуються тільки тих періодів і днів, в які проводили польоти і виконували роботи зі штучних впливів на хмари зимового періоду в 1986-1994 рр. Але польоти літаків і впливи на хмари проводили у різні місяці та дні. У часовому обсязі вони охоплювали значні частини сезонів. Це дає нам підстави для припущення, що отримані результати є цілком презентабельними для уявлення про ресурси хмар, придатних для впливів у степовій частині України (зона недостатнього зволоження).

1.4. Льотно-технологічна характеристика виробничих робіт

Розглянемо льотно-технологічні характеристики виробничого експерименту, табл. 2. Дані таблиці дають можливість оцінити рівень забезпечення експерименту літаками та інтенсивність польотів у ході виконання впливів. Як бачимо, у розпорядженні науково-технічного персоналу в різні сезони було від одного до трьох літаків. У цих літаків був приблизно однаковий діапазон робочих висот (0-7 км для Іл-14 і 0-6 км для Ан-26 і Ан-30). Робочий діапазон швидкостей для Іл-14 був у межах 220-250 км/год, для Ан-26 і Ан-30 – 360-400 км/год. Інтенсивність льотних робіт характеризує така інтегральна характеристика, як загальний наліт годин. Із табл. 2 видно, що в перший рік (1986 р.) наліт становив усього 147 годин. У наступні роки наліт збільшився і в 1987-1991 рр. був у межах від 539 до 755 годин. У зв'язку з різким зменшенням фінансування, наліт годин у 1992-1994 рр. скоротився до 39-16 год, що свідчить про практичне припинення робіт.

Зауважимо, що в загальний наліт годин входить тривалість польоту в район робіт, тривалість впливів і тривалість польоту на базу або на запасний аеродром. Продуктивність використан-

Таблиця 2

Льотно-технологічні характеристики виробничих робіт

Рік	Типи і кількість літаків	Наліт годин			Кількість ліній впливу					Реагент
		Σ	Із впливами		Σ	Ns-As		Sc, St		
			n	%		n	%	n	%	
1986 (14.11-31.12)	Два Іл-14; один Ан-30	147	64,0	43,5	420	220	52	200	48	CO ₂
1987 (01.01- 31.03; 01.11- 31.12)	Два Ан-30	696	143,6	20,6	1420	916	65	504	35	CO ₂
1988 (01.01- 31.03; 01.11- 31.12)	Один Іл-14; два Ан-30	755	246,0	32,6	2387	1463	61	924	39	CO ₂
1989 (01.01- 31.03; 01.11- 31.12)	Два Ан-30	539	181,6	33,7	1564	1133	72	431	28	CO ₂
1990 01.01- 31.03; 01.11- 31.12)	Два Ан-30; один Ан-26	614	164,3	26,8	1726	1369	79	357	21	CO ₂ ; AgJ
1991 (01.01- 31.03; 01.11- 31.12)	Два Ан-30; один Ан-26	725	159,8	22,0	1434	886	62	548	38	CO ₂ ; AgJ
1992 (01.11- 31.12)	Один Ан-30; один Ан-26	39	19,2	49,2	174	166	95	8	5	CO ₂
1993 (01.03 -31.03)	Один Ан-26	16	8,0	50,0	68	58	85	10	15	CO ₂
1994 (01.12- 31.12)	Один Ан-30	16	5,1	31,9	49	20	41	29	59	CO ₂

Примітка: n – кількість годин або ліній впливу.

ня льотного ресурсу характеризується відсотком тривалості впливів щодо загального нальоту. У роки з найінтенсивнішими польотами цей відсоток був у межах від 20,6 % (1987 р.) до 33,7 % (1989 р.) Це вказує на відносно низьку ефективність використання льотного часу. У роки з низьким нальотом (1986; 1992-1994 рр.) цей відсоток був вищим (31,9 %-50,0 %). У табл. 2 наведено також дані про число ліній, засіяних літаками в різні роки. Пояснимо, що “лінія” – це відрізок шляху літака (довжина його 20-30 км і залежить від швидкості вітру: чим сильніший вітер – тим коротша лінія, і від швидкості літака – чим більша швидкість, тим довша лінія), на якому над верхньою межею хмар висипається реагент. З наведених даних видно, що в роки з інтенсивнішими польотами засівали від 1420 (1987 р.) до 2387 (1988 р.) ліній, а в 1986 і 1992-1994 рр. – від 49 до 420 ліній. Основну роботу в роки інтенсивних польотів проводили в шарувато-дощових хмарах (Ns-As). У ці роки від 61 до 79 % ліній було засіяно в хмарах, з яких випадали природні опади і які були основним джерелом додаткових опадів.

У роки малоінтенсивних польотів впливи переважно проводили на хмарні системи Ns-As: у 1986 р. (52 %), 1992 р. (95 %) і у 1993 р. (85 %), а в 1994 р. засівали переважно Sc, St (59 %). Проте сумарний наліт годин під час впливів на Ns-As у 1992-1994 рр. був зовсім невеликим (27,1 год). Таким чином, основним об'єктом впливу в 1980-1994 рр. були фронтальні системи Ns-As.

Аналіз даних табл. 2 дає також підстави для висновку, що виробничий експеримент зі збільшення зимових опадів фактично проводили лише в період з 1987 по 1991 рр., коли тривалість впливів була в межах від 143,6 до 246,0 год. У 1986 і 1992-1994 рр. тривалість впливів була в межах 5,1 год (1994 р.) – 64 год (1986 р.). Ясно, що роботи з таким незначним продуктивним нальотом не можна вважати виробничим експериментом.

Як реагент застосовували твердий CO_2 . На ділянці польоту довжиною 1 км його скидали над верхньою межею хмар 300-700 г залежно від температури й товщини хмарного масиву. В окремих польотах у 1990 і 1991 рр. вплив на хмари здійснювали йодистим сріблом (AgI), яке вводилось у хмари шляхом відстрілу піропатронів ПВ-26. На ділянці польоту довжиною 1 км у хмари вводилось 1-3 г AgI .

1.5. Результати виробничого експерименту

1.5.1. Тривалість існування хмар, придатних для впливів

Розглянемо спочатку дані про сумарну тривалість умов ($T_{\text{плв}}$), коли над районом робіт спостерігали придатні для впливів хмари, табл. 3. Зазначимо, що в перших трьох колонках табл. 3 показано дані без диференціації за різними синоптичними процесами. Тобто наведені цифри є сумою умов за конкретний рік по всіх синоптичних процесах. Зауважимо, що дані за різні роки суттєво відрізняються. Це пояснюється зміною тривалості досліджуваних періодів, у межах яких проводили польоти. Придатні для збільшення опадів умови в хмарних системах Ns-As в роки з інтенсивними польотами тривали від 269 годин (1990 р.) до 503 годин (1988 р.). А в 1986 і 1992-1994 рр. вони були в межах від 29 до 83 годин. Загальна тривалість часу, протягом якого такі хмари зафіксовано, за всі роки становила 1935 годин.

Внутрішньомасові хмари з фізичними критеріями, що відповідали вимогам придатності, спостерігали протягом 118-410 год (1987-1991 рр.), а в роки з малою інтенсивністю польотів тривалість умов з такими хмарами становила 303 год (1986 р.) і 8-37 год у 1992-1994 рр. Усього за 1986-1994 рр. було 1519 год із такими хмарами.

Сумарно (Ns-As плюс Sc, St) придатні для впливів умови в 1987-1991 рр. спостерігали протягом 387-913 годин. У 1986 р. ця сума становила 341 год, а в 1992-1994 рр. була в межах від 37 до 120 годин. А за весь період робіт хмари цих двох класів були протягом 3454 годин.

1.5.2. Тривалість впливів на різні системи хмар

Наступні п'ять колонок табл. 3 характеризують продуктивний наліт годин, тобто тривалість впливів на різні класи хмар у годинах (T_p). У 1987-1991 рр. сумарна за рік тривалість впливів на хмарні системи Ns-As була в межах від 86,1 до 149,0 год, а в 1986 і 1992-1994 рр. на засіви Ns-As витрачено 2,2-18,0 год. За 9 років на засіви цих хмар витратили 616,4 год. У 1987-1991 рр. хмарні системи Sc, St засівали протягом 41,7-97,0 год, а в 1986 і 1992-1994 рр. менше, всього 1,2-57 годин. За 9 років наліт із засівами Sc, St становив 375,2 год. Сумарно роботи зі збільшення опадів у 1987-1991 рр. виконували протягом 143,6-246,0 год, а в 1986 і 1992-1994 рр. наліт із впливами не перевищував 5,1-64,0 год. Сумарно за всі 9 років для засівів Ns-As і Sc, St було витрачено 991,6 льотних год.

Наведені в табл. 3 дані про наліт годин під час впливів на різні хмарні масиви показують,

Таблиця 3

Тривалість існування й міра використання ситуацій, придатних для впливів у 1986-1994рр.

Рік	T _{пдв} , годин			T _в , годин				K _{рс} , %		
	Ns-As	Sc,St	Σ	Ns-As		Sc,St		Σ	Ns-As	Sc,St
				n	%	n	%			
1986	38	303	341	7,0	10,9	57,0	89,1	64,0	18,4	18,8
1987	338	300	638	86,1	60,0	57,5	40,0	143,6	25,5	19,2
1988	503	410	913	149,0	60,6	97,0	39,4	246,0	29,6	23,7
1989	354	170	524	125,6	69,2	56,0	30,8	181,6	35,5	32,9
1990	269	118	387	122,6	74,6	41,7	25,4	164,3	45,5	35,6
1991	277	163	440	99,2	62,1	60,6	37,9	159,8	35,8	37,2
1992	83	37	120	18,0	93,8	1,2	6,2	19,2	21,7	3,2
1993	44	10	54	6,7	83,8	1,3	16,2	8,0	15,2	13,0
1994	29	8	37	2,2	43,1	2,9	56,9	5,1	7,6	36,2
Сума	1935	1519	3454	616,4	—	375,2	—	991,6	—	—
Середнє	—	—	—	—	62,2	—	37,8	—	31,9	24,7

Примітки: T_{пдв} – тривалість існування хмар, придатних для впливів (у годинах); T_в – тривалість впливів (у годинах); K_{рс} – показник реалізації ситуацій, придатних для впливів (%); n – кількість годин.

що інтенсивність льотних робіт була невеликою, навіть у 1987-1991 рр.

1.5.3. Міра реалізації придатних для впливів ситуацій

Важливою характеристикою ефективності робіт є показник реалізації ситуацій (K_{рс}), придатних для впливу. Його можна розрахувати (у відсотках) за виразом:

$$K_{рс} = \frac{T_{в}}{T_{пдв}} * 100 \%, \quad (1)$$

де T_в – тривалість впливів у годинах; T_{пдв} – тривалість існування хмар (у годинах), фізичні параметри яких відповідають критеріям придатності для впливів.

Цей показник було розраховано окремо для Ns-As і Sc, St. Як видно із даних, наведених у табл. 3, у 1987-1991 під час впливів на Ns-As K_{рс} змінювався від 25,5 % (1987 р.) до 45,5 % (1990 р.). У роки з малою кількістю вильотів (1986; 1992-1994 рр.) показник був значно меншим (7,6-21,7 %). Середнє значення K_{рс} для Ns-As становило 31,9 %.

Під час впливів на Sc, St K_{рс} у 1987-1991 рр. був у межах від 19,2 до 37,2 %, а в 1986 і 1992-1994 рр. він становив 3,2-36,2 %. Середнє значення K_{рс} для Sc, St було 24,7 %, тобто суттєво меншим, ніж для Ns-As (31,9 %).

У [9] кількома варіантами розрахунків, які ґрунтувались на експериментальних даних, було показано, що можливе відносне збільшення зимових опадів у процесі впливів на системи Ns-As за умови використання ресурсів усіх придатних для впливів хмар може досягати 33-35 %. У нас K_{рс} дорівнював 31,9 %, тобто дві третини ситуацій було пропущено. За цієї умови відносне (%)

збільшення опадів могло досягти 11-12 %. Такий рівень збільшення зимових опадів для, наприклад, сільського господарства, є цілком прийнятним.

Але, тут треба зробити одне суттєве зауваження, показані в табл. 3 числові значення K_{рс} отримано з урахуванням припущення, що в кожній із операцій засіву хмар вплив проводили на весь масив хмар, який проходить над мішенню, тобто, довжина лінії впливу дорівнювала діаметру території збільшення опадів. Насправді така умова ніколи не виконувалась через брак необхідної кількості літаків. У табл. 3 констатується лише факт, що в кожній ситуації проводились впливи безвідносно до того, яка частина масиву, що проходила над мішенню, була піддана впливу. Насправді, числове значення K_{рс} було значно меншим, ніж це показано в табл. 3. Як врахувати цей факт у завданні комплексної оцінки експерименту, буде показано нижче, у підрозділі 2.2.

1.5.4. Кількісна оцінка експерименту

Дані про рівень абсолютного (у міліметрах) і відносного (у %) збільшення зимових опадів наведено в табл. 4. У роки з відносно інтенсивними польотами (1987-1991 рр.) за 5 місяців холодного періоду року (I-III, XI, XII) було отримано 11,3-33,0 мм додаткових опадів. Найбільше значення цієї добавки було в 1990 р. (21,1 мм) і в 1991 р. (33,0 мм), що пояснюється сприятливішими синоптичними умовами. У ці періоди було більше виходів південно-західних і південних циклонів, з якими пов'язано проходження через полігон найрозвиненіших теплих фронтів. Найінтенсивніші польоти були в 1988 р., коли досягнуто найбільшу тривалість впливів: 149 годин у Ns-As, 97 годин у Sc, St, сумарно 246 годин. Але кіль-

Таблиця 4

Результати виробничих робіт зі штучного збільшення опадів у 1986-1994 рр.

Рік	$\Sigma\Delta R$, мм	\bar{R}_k , мм	\bar{R}_{mc} , мм	\bar{R}_n , мм	ΔR_1 , %	ΔR_1^{mc} , %	ΔR_1^n , %	Зони максимумів		р, млн.т	g, коп/т
								ΔR_{max} , мм	S_{max} , тис.га		
1986	0,9	129	143	169	0,7	0,6	0,5	2,2	19	4,5	6,8
1987	11,3	141	147	169	8,0	7,7	6,7	>15	80	56,5	1,1
1988	13,7	137	153	169	10,0	9,0	8,1	>15	200	68,5	1,0
1989	12,7	99	95	169	12,8	13,4	7,5	-	-	63,5	1,1
1990	21,1	151	135	169	14,0	15,6	12,5	21-25 26-30	200 110	105,5	0,8
1991	33,0	157	109	169	21,0	30,3	19,5	31-40 >40	150 60	165,0	0,5
1992	3,0	150	133	169	2,0	2,3	1,8	-	-	15,0	3,3
1993	3,5	145	148	169	2,4	2,4	2,1	-	-	17,5	1,7
1994	1,2	120	128	169	1,0	0,9	0,7	-	-	6,0	5,0
Сума	100,4	-	-	-	-	-	-	-	-	502	-

Примітки: $\Sigma\Delta R$ – сума штучних опадів на мішені; \bar{R}_k – середній шар природних опадів у контрольній зоні за даними густої опадомірної мережі ЕМП за п'ять зимових місяців (I-III, XI, XII); \bar{R}_{mc} – середній шар опадів у західній частині Дніпропетровської області, розрахований за даними чотирьох метеостанцій за п'ять місяців (I-III, XI, XII); R_n – норма опадів за зимові місяці (I-III, XI, XII), розрахована за 1971-2000 рр.; $\Delta R_1, \Delta R_1^{mc}, \Delta R_1^n$ – відповідно числові значення відносного у (%) збільшення опадів на мішені порівняно з $\bar{R}_k, \bar{R}_{mc}, R_n$; ΔR_{max} – максимальне значення кількості додаткових опадів, що зафіксовані на частині мішені; S_{max} – площа (тис. га) частини мішені, де випала вказана максимальна кількість опадів; р – кількість води додаткових опадів у тоннах, що випали в межах мішені (500000 га); g – вартість однієї тонни води в копіяках.

кількість додаткових опадів за цей рік була вдвоє меншою (13,7 мм) від середнього значення за 1990 і 1991 рр. (27,05 мм). Причиною цього були синоптичні умови. У 1988 р. більшість атмосферних фронтів було пов'язано з виходом західних і північно-західних («пірнаючих») циклонів. Інтегральні водозапаси хмарних систем цих фронтів суттєво менші ніж у хмар, які формуються на фронтах південно-західних і південних циклонів. Крім того, середній відсоток Ns-As, засіяних у 1990-1991 рр., становив 68,4 %, а в 1988 р. – лише 60,6 %, табл. 3.

У роки, коли проводились лише епізодичні польоти (1986; 1992-1994 рр.), було отримано від 0,9 мм (1986 р.) до 3,5 мм (1993 р.) додаткових опадів.

Зауважимо, що в розрахунках як абсолютного (у мм), так і відносного (у %) збільшення опадів їх шар на мішені (площа 500 000 га) порівнювали з рівнем опадів на навколишній території, де не міг проявитися ефект впливів, тобто цей метод оцінки відповідав тому, який використовували в наукових експериментах [5, 6, 13, 15, 20, 21]. Усі розрахунки проводили з використанням даних густої опадомірної мережі ЕМП.

У наступній колонці табл. 4 показано середній шар опадів за холодний період у контрольній зоні (\bar{R}_k), розрахований за даними мережі ЕМП для кожного року. Колонка \bar{R}_{mc} показує середній шар опадів у західній частині Дніпропетровської області, розрахований за даними чотирьох метеорологічних станцій (Комісарівка, Кривий Ріг,

Лошкарівка і Нікополь) – теж для кожного року. У колонці R_n показано кліматичну норму опадів для західної частини Дніпропетровської області за 1971-2000 рр., розраховану за даними вказаних вище чотирьох метеорологічних станцій.

Як бачимо, дані \bar{R}_k і \bar{R}_{mc} за окремі роки суттєво відрізняються (1988, 1990, 1991, 1992). Точнішими треба вважати значення колонки \bar{R}_k як такі, що отримані шляхом розрахунків за даними сотень опадомірних постів мережі ЕМП.

У наступних трьох колонках наведено результати обчислення відносного збільшення опадів на мішені. У колонці ΔR_1 показано відносне збільшення опадів п'яти зимових місяців порівняно з середнім шаром опадів у контрольній зоні. Відносне збільшення опадів у 1987-1991 рр. було в межах від 8 до 21 %, тобто в чотирьох роках (1988-1991 рр.) із п'яти досягало або перевищувало умовно прийнятний для, наприклад, сільського господарства рівень збільшення, яким вважається 10 %. У 1987 р. відносне збільшення опадів було менше цієї межі, але й інтенсивність польотів у цей рік була також найменшою – наліт становив усього 143,6 години, табл. 3.

У колонці ΔR_1^{mc} наведено дані про рівень відносного збільшення опадів на мішені порівняно з середнім шаром природних опадів \bar{R}_{mc} у західній частині Дніпропетровської області. Ці дані дещо відрізняються від даних попередньої колонки. У 1987-1991 рр. числові значення ΔR_1^{mc} були в межах від 7,7 до 30,3 %, а в 1986, 1992-1994 рр. вони досягали лише 0,6 (1986 р.) – 2,4 % (1993 р.).

У наступній колонці ($\Delta R_1^{\text{н}}$) показано збільшення опадів на мішені щодо кліматичної норми (169 мм) п'яти холодних місяців для західної частини Дніпропетровської області. Рівні відносного збільшення в цій колонці в усі роки менші, ніж у двох попередніх. У 1987-1991 рр. числові значення $\Delta R_1^{\text{н}}$ були в діапазоні 6,7-19,5 % і тільки в 1990 і 1991 рр. перевищують рівень 10 %. У 1986, 1992-1994 рр. відносне збільшення опадів порівняно з кліматичною нормою було в межах 0,5 % (1986 р.) – 2,1 % (1993 р.). Але в роки з інтенсивнішими польотами колонка $\Delta R_1^{\text{н}}$ також показує помітне збільшення опадів.

Штучні опади, як і природні, випадають нерівномірно. Їх розподіл має плямистий характер. Є ділянки, де їх випадає більше, і є зони, де їх менше. У табл. 4 показано максимальні значення сум додаткових опадів (ΔR_{max}) і площі (S_m), на яких їх відмічено. З наведених даних видно, що на окремих ділянках додаткових опадів випадало на 30-40 % більше, ніж у середньому по площі мішені. Ці ділянки в окремі роки мали площі до 110-200 тисяч га, що становило 22-40 % площі мішені. Ясно, що на цих ділянках сільськогосподарські культури могли відчутніше прореагувати на збільшення опадів.

1.5.5. Про економічну ефективність штучного збільшення опадів

У передостанній колонці табл. 4 показано інтегральний ефект впливів – сумарну кількість води (P) в тоннах, яка випала на мішень у вигляді додаткових опадів. Як бачимо, у 1987-1991 рр. на площі мішені було отримано від 56,5 до 165 мільйонів тонн води. Навіть у роки з епізодичними впливами було отримано від 4,5 млн. тонн (1986) до 17,5 млн. тонн у 1993 р. Усього за роки виробничих робіт на площі мішені (500000 га) було отримано 100,4 мм додаткових опадів або 502 млн. тонн води.

Важливим показником економічної ефективності роботи будь-якого підприємства є вартість отриманої продукції. У нас – це вода. У табл. 4 в останній колонці показано розрахунки вартості однієї тонни води. При цьому враховувалась плата за льотні роботи, за реагенти, наземне обслуговування, а також заробітна плата спеціалістів, які брали участь у забезпеченні всього комплексу робіт, необхідних для реалізації проекту. У роки, коли фактично проводилися виробничі роботи (1987-1991 рр.), вартість однієї тонни води була в межах 0,5-1,1 копійки. Зі збільшенням ефективності робіт і, одночасно, кількості води штучних опадів, вартість однієї тонни знижувалась до 0,5 к. (1991 р.). У разі зменшення кількості отриманої

води її вартість збільшувалась до 1,1 к. за тонну. У роки з малою інтенсивністю робіт (1986, 1992-1994 рр.) вартість води збільшувалась до 1,7-6,8 к. за тонну. Фінансові витрати на стаціонарну інфраструктуру фіксовані, тому будь-яке підвищення ефективності робіт автоматично зменшує ціну однієї тонни води.

Виробничий експеримент проводили із застосуванням надзвичайно складної технології, яка вимагає великих фінансових витрат, що пов'язано із використанням літаків. Але дослідження показало, що ціна води штучних опадів була незначною (0,5-1,1 копійки за одну тонну). Така собівартість цілком прийнятна для сільського та інших галузей господарства.

1.5.6. Екологічний аспект штучного збільшення зимових опадів

Вода штучних зимових опадів підвищує врожайність сільськогосподарських культур. Сніг, що випадає, має утеплювальний вплив і запобігає вимерзанню озимини. Вода штучних опадів може наповнювати водосховища і ставки, а потім може бути використана для зрошення полів. Меліоративна вода, яку можна теж подати на поля, містить безліч забруднювальних інгредієнтів, може засолювати ґрунти, шкодити довкіллю і рослинам.

Насамкінець зауважимо, що вода штучних опадів адекватна воді природних опадів і за екологічними показниками незрівнянно перевищує ту, яку можна подати на поля засобами меліорації. Спеціальні дослідження показують, що реагенти, які застосовуються для засівів хмар, не мають негативного впливу на довкілля [14].

2. Технологічна оцінка виробничих робіт

Завданням технологічної оцінки є комплексна характеристика виробничих робіт. При цьому необхідно обчислити реальний коефіцієнт використання ситуацій, оцінити виробничу ефективність польотів і організацію робіт загалом. Таке дослідження необхідне для подальшого удосконалення виробничого алгоритму робіт і розробки практичних рекомендацій щодо їх оптимального проведення.

2.1. Про рівень забезпечення виробничого проекту літаками

Кількість літаків (n), необхідних для проведення впливів над визначеною територією, обчислюється з урахуванням площі цієї території (діаметра, якщо мішень у вигляді круга) і швидкості літаків за співвідношенням:

$$n = \frac{L}{L_1}, \quad (2)$$

де L – діаметр круга або довжина сторони мішені, якщо вона має форму прямокутника; L_1 – довжина лінії впливу (частини L), яку може засіяти один літак.

Величина L_1 залежить від швидкості літака, швидкості вітру на висоті впливу, ширини зони кристалізації за даних метеорологічних умов і може бути обчислена за таким виразом:

$$L_1 = V_l \frac{(l^I - V_v \tau_{pv})}{V_v}, \quad (3)$$

де V_l – швидкість літака; V_v – швидкість вітру на висоті польоту (рівень верхньої межі хмар, які засіваються); l^I – ширина зони кристалізації в хмарах від одного прольоту літака; τ_{pv} – тривалість розвороту літака на зворотний курс. З урахуванням (3) вираз (2) буде мати вид:

$$n = \frac{LV}{V_l (l^I - V_v \tau_{pv})}. \quad (4)$$

Зі збільшенням швидкості вітру (V_v) кількість літаків (n) зростає, а в разі збільшення швидкості літака (V_l) величина n зменшується.

У нашому випадку (круг, площею 5000 км²) $L = 80$ км. Довжина L_1 для середніх метеорологічних умов (швидкість переносу хмар близько 40 км на годину, використовується літак Іл-14, робоча швидкість якого 240 км/год) становить 20 км, а n відповідно дорівнює 4. Якщо застосувати літаки Ан-30 або Ан-26 з робочою швидкістю 360 км/год, то L_1 досягне 30 км, а n становитиме 2,7.

Зауважимо, що можливість збільшення ділянки L_1 у разі застосування будь-яких типів літаків обмежена необхідністю здійснювати своєчасні розвороти на зворотній курс, щоб забезпечити необхідну відстань (l) між лініями впливу (приблизно 3-4 км). Такий алгоритм польоту забезпечує умову суцільної кристалізації хмарного масиву, оскільки ширина зони кристалізації (l^I) здебільшого не перевищує 3-4 км.

Тобто, для засіву всього напливаючого шару хмар на лінії впливу одночасно мало б бути чотири літаки Іл-14 або три літаки Ан-30. Це була б перша ланка літаків. Через 3-4 години її мала б замінити друга ланка і цей процес продовжувався б доти, доки в зоні мішені зберігалися б хмари, придатні для впливу. Для повного забезпечення літаками льотних робіт потрібно мати угруповання в складі не менше ніж 12 літаків. Такого забез-

печення не було. У більшості випадків виконавці робіт мали два літаки і тільки в 1990 і 1991 рр. – по три літаки: два Ан-30 і один Ан-26.

Що стосується конкретних робочих вильотів, то на лінії впливу завжди працював лише один літак, крім 1991 р. (два літаки).

Таким чином, можна констатувати, що виробничий проект був забезпечений літаками менш ніж на 30 %. Ця обставина виключала можливість повного використання потенціалу наукової технології збільшення опадів.

2.2. Про ефективність використання сприятливих для активного впливу ситуацій

У підрозділі 1.5.3. для розрахунку показника реалізації ситуацій (K_{pc}) було використано формулу (1). Але такий підхід правомірний лише тоді, коли $L = L_1$. Такої умови ніколи не було. Тому для технологічної оцінки робіт у ході обчислення реального значення показника K_{pc} необхідно використати співвідношення:

$$K_{pc} = \frac{T_v}{T_{пдв}} \cdot \frac{nL_1}{L} \cdot \frac{l^I}{l}, \quad (5)$$

де T_v – тривалість впливів; $T_{пдв}$ – тривалість умов із придатними для впливів хмарами; L – діаметр мішені (необхідної довжини лінії впливу); L_1 – довжина лінії впливу кожного окремого літака; n – кількість літаків, що працюють на загальній лінії L ; l – відстань між лініями впливу; l^I – ширина зони кристалізації від засіву по одиничній лінії L_1 .

Якщо $n L_1 = L$, то $n L_1/L = 1$, а якщо $l^I = l$, то і $l^I / l = 1$. А коли так, то формула (5) стає адекватною формулі (1). Але це було б тоді, коли параметр n у формулі (5) дорівнював би цифрі 4, у разі використання літаків Іл-14, або цифрі 3, коли були літаки Ан-30 і Ан-26. Але в нас виконувалась лише одна умова: $n = 1$. Якщо взяти до уваги, що літаки Іл-14 використовували мало і лише на початковому етапі розвитку робіт (1986-1987 рр.), то варто досліджувати ситуацію лише з літаками Ан-30 і Ан-26. Для забезпечення засіву на всій протяжності лінії L за швидкості літаків 360 км/час потрібно було три літаки ($n = 2,7$). Оскільки в нас завжди n дорівнювало одиниці, то nL_1/L у нас дорівнює $1/2,7$; тобто 0,37. Якщо врахувати можливість збільшення робочої швидкості літаків до 400 км на годину, а також умову виконання засіву і в процесі розворотів, то вираз nL_1/L матиме значення, близьке до 0,5.

Що стосується виразу l^I / l , то переважно він був дещо меншим за одиницю (0,6-0,8), бо ширина зони кристалізації від одного прольоту

літака (l') була меншою за відстань між лініями впливу (l). Але в разі випадків за температур нижче мінус 10 °С і за висоти впливу більше ніж 2 км виконувалась умова $l' = l$ і цей множник наближався до одиниці.

З урахуванням цих міркувань вираз (5) приймає вид:

$$K_{pc} = \frac{T_v}{2T_{пдв}} \quad (6)$$

Таким чином, у дані про числові значення показників реалізації придатних для впливів ситуацій, подані в табл. 3, необхідно ввести поправку, зменшивши їх приблизно вдвічі. Тобто, середнє значення K_{pc} для Ns-As буде близьким до 16 %, а для Sc, St – становитиме 12,4 %.

Як бачимо, основний об'єкт впливу – хмарні системи Ns-As було використано менш ніж на 20 %. Головною причиною цього було абсолютно недостатнє забезпечення літаками й льотними екіпажами.

2.3. Про відповідність даних наукових і виробничих робіт

Перед тим, як оцінювати наш виробничий експеримент щодо поставленого завдання, необхідно зробити одне зауваження. Вище, у підрозділі 1.2, було зроблено висновок, що власне виробничими роботами зі збільшення опадів можна вважати лише ті, які виконано в 1987-1991 рр., оскільки в ці роки наявний наліт годин дійсно міг забезпечити помітне збільшення опадів. У 1986 і 1992-1994 р. через недостатність фінансування польоти виконувались лише епізодично й мізерний сумарний наліт цих років не дає підстав вважати цей період виробничим експериментом. Через те будемо брати до уваги лише роботи, виконані в 1987-1991 рр.

Щоб оцінити ефективність технології штучних впливів, необхідно розрахувати можливу кількість додаткових опадів за умови повного використання потенціалу хмар холодних місяців року (I-III, XI, XII) і порівняти результат з кліматичною нормою для західної частини Дніпропетровської області, розрахованою за період 1971-2000 р. Цю норму (169 мм) наведено в табл. 4. Результати розрахунків можливої кількості штучних опадів показано в табл. 5.

Близький до дійсного показник реалізації придатних для впливів ситуацій (K_{pc}^*) отримано шляхом ділення на "2" значень K_{pc} , наведених у табл. 3, згідно з міркуваннями, викладеними в підрозділі 2.2. Необхідно також зауважити, що для 1991 р. показник реалізації придатних для

впливів ситуацій залишився без змін, оскільки того року в практиці впливів використовувались одночасно і два літаки Ан-30.

Таблиця 5

Можливе збільшення кількості зимових опадів за умови повного використання сприятливих синоптичних ситуацій

Рік	K_{pc}^* , %	K_n , %	ΔR , мм	ΔR^* , мм	$\Delta R + \Delta R^*$, мм	$\Delta R_1^{п}$, %
1987	12,5	87,5	11,3	79,1	90,4	53,5
1988	14,5	85,5	13,7	80,8	94,5	55,9
1989	17,5	82,5	12,7	59,9	72,6	43,0
1990	22,5	77,5	21,1	72,7	93,8	55,5
1991	36,0	64,0	33,0	58,6	91,7	54,3

Примітки: K_{pc}^* – фактичний показник реалізації ситуацій з фронтальними Ns-As; K_n – показник пропуску придатних для впливів ситуацій; ΔR – фактична кількість додаткових опадів у виробничому експерименті; ΔR^* – можлива кількість додаткових опадів із незасіяних хмар, придатних для впливу; $\Delta R + \Delta R^*$ – можлива кількість додаткових опадів за умови повного використання потенціалу хмар; $\Delta R_1^{п}$ – можливе відносне збільшення кількості опадів порівняно з кліматичною нормою для західної частини Дніпропетровської області.

У табл. 5 наведено значення показника пропуску ситуацій (K_n), а також значення фактичного за 5 зимових місяців додатку опадів (ΔR). Було розраховано можливу кількість штучних опадів із пропущених хмарних масивів (ΔR^*). Як бачимо, вона значно більша за реально отримані додаткові опади. Далі в табл. 5 наведено цифри можливої кількості додаткових опадів ($\Delta R + \Delta R^*$) за зимові місяці кожного конкретного року за умови повного використання всіх придатних для впливу ситуацій (як сума реально отриманих опадів і тих, які можна було б очікувати з пропущених хмар).

В останній колонці показано величини можливого відносного збільшення опадів ($\Delta R_1^{п}$) порівняно з кліматичною нормою за 30-літній період (1971-2000 рр.). З наведених даних видно, що за умови використання потенціалу всіх придатних для впливу хмарних систем опади 5-ти місяців холодної частини року могли б бути збільшеними на 43,0-55,9 %.

Це не суперечить отриманим раніше науковим висновкам про можливість збільшення опадів зимового сезону на 37-40 %.

У практиці впливів використати всі ситуації майже неможливо. Але отриманий результат вельми обнадійливий тому, що навіть використання 50 % потенціалу хмар може збільшити сезонну суму опадів на 20-25 %, що може мати велике значення для сільського та інших галузей народного господарства України.

2.4. Географічний аспект застосування технології збільшення зимових опадів

Експерименти, які дозволили розробити оригінальну технологію збільшення кількості зимових опадів, проводили в зоні українського степу. Може постати питання: якою мірою висновки, отримані в результаті проведення цих регіональних експериментів, можуть бути справедливими в інших регіонах, віддалених на сотні й тисячі кілометрів від ЕМП? Є підстави вважати, що ця технологія може бути успішною в будь-якому регіоні земної кулі, де проходять атмосферні фронти з хмарними системами Ns-As. Підтвердити це припущення могли б результати експериментів у інших регіонах.

Один із них, з використанням української технології впливу, було проведено в 1985-1989 рр. в Молдові (Діневич Л.А.) на полігоні біля міста Хінчешти. Площа полігону становила 300 000 га. Від ЕМП він був віддалений на 400 км. Роботи на цьому полігоні проводили з використанням твердого CO₂ і йодистого срібла, які вводились у хмари з літаків АН-30 і АН-26. У цьому експерименті через недостатню кількість літаків також допускались пропуски сприятливих для збільшення опадів ситуацій. Але, попри недостатнє технічне забезпечення, експеримент був цілком успішним. Збільшення кількості зимових опадів на мішені в зимові сезони 1985-1989 рр. було в межах 16-25 % [20, 21].

Таким чином, було експериментально доведено, що українська технологія збільшення зимових опадів була цілком ефективною і в умовах Молдови.

Висновки

Дослідження й аналіз результатів першого українського експерименту зі збільшення зимових опадів, проведеного в західній частині Дніпропетровської області на площі 500000 га у 1986-1994 рр., дають підстави для таких висновків:

1. У натурних умовах під час вирішення конкретного завдання – збільшення опадів на задалегідь визначеній території (0,5 млн. га) – пройшла практичне випробування розроблена в УкрГМІ технологія збільшення зимових опадів. Досліджено різні системи хмар і проведено на них впливи з метою виводу штучних опадів на площу мішені.

2. Найпридатніші для впливів хмарні системи Ns-As формуються на фронтах південних, південно-західних і західних циклонів. Тривалість (у годинах) умов з придатними для засівів хмарами в цих циклонах становить від 26,8 % (за-

хідні циклони) до 39,7 % (південні й південно-західні циклони) проміжку часу, протягом якого спостерігали хмари, що утворювались під впливом цих циклонів.

3. Основним об'єктом впливів були хмарні системи Ns-As. На їх засіви витрачено від 60 до 75 % продуктивного нальоту. Тривалість впливів на ці хмари була в межах від 86,1 до 149,0 год (1987-1991 рр.).

4. Реальне використання сприятливих для засіву ситуацій, пов'язаних з хмарними системами Ns-As, було в межах від 12,5 до 36,0 %.

5. У роки з інтенсивнішими польотами (1987-1991 рр.) абсолютне збільшення суми опадів за місяці холодного періоду року було в межах від 11,3 мм (1987 р.) до 33 мм (1991 р.). Відносне збільшення опадів у ці роки змінювалось від 8 до 21 %.

6. Кількість води додаткових опадів у ці роки була в межах від 56,5 до 165,0 млн т. За роки проведення виробничих робіт на мішені (500 тис. га) було отримано 100,4 мм додаткових опадів або 502 мільйони тонн води.

7. Вартість однієї тонни води штучних опадів становила 0,5-1,1 копійки.

8. За умови використання всіх придатних для впливів ситуацій сума додаткових опадів п'яти місяців холодної частини року може сягати 43-56 % від кліматичної норми за цей період.

9. Забезпечення виробничого проекту літаками-метеолабораторіями було недостатнім і не перевищувало 30 % від необхідного рівня.

10. Успішне проведення виробничого експерименту дає підстави для наступних тверджень. По-перше, отримані результати показують, що наукові висновки щодо можливого рівня збільшення зимових опадів були правильними. По-друге, отримані результати вказують на те, що організація й технологія проведення робіт відповідали методичним вимогам, реалізація яких гарантує отримання передбаченої науковими дослідженнями кількості додаткових опадів.

* *

1. Галаджий Н.М. Оценка эффекта воздействия на облака зимнего периода при засевах, проведенных над ЭМП УкрНИГМИ // Тр. УкрНИГМИ. – 1984. – Вып. 199. – С. 66-70.
2. Галаджий Н.М., Лесков Б.Н., Сухомлинова В.А. О критериях пригодности зимних слоистых облаков к засеву с целью увеличения осадков // Активные воздействия на гидрометеорологические процессы (Тр. Всесоюзной конф.). – 1990. – Ленинград: Гидрометеоздат. – С. 360-363.

3. *Заболоцька Т.М., Лесков Б.Н., Підгурська В.М., Шпиталь Т.М.* Оцінка можливої кількості штучних опадів з хмар холодного періоду року // *Наук. пр. УкрНДГМІ.* – 2001. – Вип. 249. – С. 25-43.
4. *Леонов М.П., Перелет Г.И.* Активные воздействия на облака в холодное полугодие // *Л.: Гидрометеоиздат.* – 1967. – 160 с.
5. *Лесков Б.Н.* Выделение зон усиленных осадков при воздействии на фронтальные облака // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1970. – Вип. 86. – С. 23-31.
6. *Лесков Б.Н.* Методика и предварительные результаты опытов по перераспределению осадков // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1970. – Вип. 89. – С. 67-75.
7. *Лесков Б.Н., Могила Л.И., Половина И.П.* О возможном количестве искусственных осадков из облачных слоёв “сухих” фронтов // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1971. – Вип. 99. – С. 52-57.
8. *Лесков Б.Н., Неробеева Т.Д.* О пригодности к воздействиям фронтальных облаков, дающих осадки // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1971. – Вип. 103. – С. 34-41.
9. *Лесков Б.Н.* Результаты воздействий на фронтальные облака с целью увеличения осадков в холодный период года // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1972. – Вип. 114. – С. 124-137.
10. *Лесков Б.Н., Раменский Л.А., Фурман А.И.* Влияние твердых искусственных осадков на перезимовку озимых культур // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1975. – Вип. 144. – С. 135-140.
11. *Лесков Б.Н.* Параметры облаков, засевавшихся в экспериментах по регулярному увеличению осадков // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1976. – Вип. 152. – С. 74-79.
12. *Лесков Б.Н.* Технологические аспекты производственного увеличения зимних осадков // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1991. – Вип. 242. – С. 3-17.
13. *Лесков Б.Н.* // Об оценке количества дополнительных осадков при регулярных воздействиях на слоистообразные облака // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1991. – Вип. 242. – С. 17-28.
14. *Лесков Б.Н., Смородінцева Л.І.* Екологічні аспекти активних впливів на атмосферні процеси // *Укр. гідрометеорологічний журнал.* – 2010. – № 6 – С. 11-17.
15. *Методические указания по организации и проведению работ по искусственному увеличению осадков на Украине.* – М.: Гидрометеоиздат. – 1986. – 32 с.
16. *Половина И.П.* Воздействия на внутримассовые облака слоистых форм. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1971. – 214 с.
17. *Фурман А.И.* Экспериментальный метеорологический полигон УкрНИГМИ // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1978. – С. 95-102.
18. *Синько Н.В., Сухинский А.Н., Черный А.П.* Результаты активных воздействий на облака холодного периода года с целью увеличения осадков на площади 500 тыс. га // *Тр. УкрНИГМИ.* – 1984. – Вип. 199. – С. 71-78.
19. *Bergeron T.* La physique des nuages et des precipitations // *Mem.de la S. Ass. Gen. L'union geoph. Leddes,* 1935.
20. *Dinevich L., Leskov B.* Technology and principal results of the import on cloud processes in Ukraine and Moldova and the possibilities of their use for precipitation increase in Israel // *Scientific Israel –Technological advantages.* – Vol. 3. – 2001/ –№ 1-2, “Environmental Engineering and Composite Materials”. – 2001. – P. 46-73.
21. *Dinevich L., Leskov B., Dinevich S.* Cloud modification for rain enhancement // *Journal of Science and Engineering.* – Series B: Applied Science and Engineering. – Vol. 2 issues 1-2. – 2005. – P. 168-207.
22. *Findeisen W.* Die kolloidmeteorologischen Vorgänge bei der Niederschlagsbildung // *Met.* 1938. – Z. 55. – P. 121.
23. *Schaefer V.J.* The production of ice crystals in a cloud of supercooled water droplets // *Science,* 1946, Vol. 104. – № 2707. – P. 457.
24. *Veraart A.W.* Meer zonneschijn in het nevelig Noordeu; meer regen in de Tropen // *Seyffardt's Bock on Muziekhandel.* Amsterdam. – 1931. – P. 193.
25. *Vonnegut B.* The nucleation of ice formation by silver iodide // *J. Appl. Phys.* 18. – 1947. – P. 593.
26. *Wegener.* “Termodinamic der Erdatmosphäre”. – 1911.

*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет,
Український гідрометеорологічний інститут, Київ*

С.К. Кудрявцева, Б.Н. Лесков

Результаты производственного проекта по увеличению зимних осадков в Украине

Обобщены результаты производственного проекта, целью которого было увеличение количества зимних осадков на площади 500 тыс. га в Днепропетровской области (1986-1994 гг.). Относительное увеличение осадков на мишени, сравнительно с контрольной площадью, в технологически лучше обеспеченных сезонах (1987-1991 гг.) было в пределах от 8,0 до 21,0 %. Этот результат по-

лучен в условиях, когда реальная степень использования пригодных для воздействий ситуаций не превышала 30 %. Увеличение сезонной суммы осадков, при условии использования всех ресурсов облаков, может достичь 43-56 %. Наибольший процент часов с облаками, пригодными для увеличения осадков, был во время перемещения западных (26,8 %), юго-западных и южных (39,7 %) циклонов.

Ключевые слова: активные воздействия, мишень, самолёт, реагент, искусственное увеличение зимних осадков.

S.K. Kudriavtseva, B.N. Leskov

Results of full-scale project of winter precipitation increasing in Ukraine

The results of the full-scale project, the aim of which was to increase the amount of winter precipitation on the area of 500 000 hectares in the Dnipropetrovsk Region (1986-1994), were summarized in this article. The relative increase of precipitation on the target, compared with the control area, in a technologically aspect better ensured seasons (1987-1991 years) was within 8,0-21,0 %. This result was obtained

in circumstances when the real level of using of acceptable situations for weather modification not exceeds 30 %. In the case of using of all resources of clouds suitable for weather modification, possible increase in seasonal precipitation amounts with respect to the climate norm estimated at 43-56 %. The highest percentage of hours of suitable clouds for increasing precipitation observed during moving of west (26,8 %) and the south-western and southern (39,7 %) cyclones.

Keywords: weather modification, target, airplane, reagent, artificial increasing of winter precipitation.

УДК 551.576.3+551.583.2:[502.3:504.7]

Т.М. Заблоцька, В.М. Шпиг**КІЛЬКІСНІ ЗМІНИ ХМАРНОСТІ
ЯК ІНДИКАТОР ПЕРІОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ**

Проаналізовано особливості змін кількості загальної та нижньої хмарності, повторюваності ясного та похмурого стану неба за загальною та нижньою хмарністю, повторюваності основних форм хмар послідовно від одного до іншого десятиріччя впродовж 1961-2010 рр. Показано, що найбільші зміни всіх показників хмарного покриву були в третьому десятиріччі (1981-1990 рр.).

Ключові слова: загальна та нижня хмарність, стан неба, основні форми хмар, десятиріччя, кількісні зміни.

Вступ

У XIX столітті видатні кліматологи Берг, Брікнер, Брукс, Камінський, Воейков, Мекінг звернули увагу на квазіперіодичність змін метеорологічних величин. Брікнер у 1890 р. вперше наголосив про 35-річний цикл коливань температури, опадів, тиску. Повного збігу періодів коливань не було (коливання опадів відставали від коливань температури). Зміни температури в межах одного періоду становили близько 1° до 1850 р., а після 1850 р. менше 1°. Амплітуда коливань опадів за один період становила близько 12 %. Період 35 років – це середня цифра. Брікнер, а пізніше Воейков вказували на період 20-50 років і більше [1].

Згідно з репрезентативними вимірами приземної температури повітря в XX ст. глобальне потепління клімату спостерігали протягом двох періодів: з 1911 до 1945 р. та з 1976 р. до теперішнього часу. Зміни приземної температури повітря, температури поверхні океану та верхнього шару ґрунту відбувались узгоджено [2].

Сьогодні існує два погляди щодо причин потепління: зміни природних чинників (обертання Землі навколо своєї осі й Сонця, сонячна активність, інтенсифікація процесів у земній корі, зміна механізмів циркуляційних процесів та ін.) й дія антропогенних чинників (створення парникового ефекту внаслідок викидів газів промисловістю).

Ці причини, що сприяють глобальному потеплінню, впливають безпосередньо й на режим хмарності. Особливості кліматичних змін хмарного покриву за тривалі проміжки часу оцінено американськими вченими над усіма континентами й островами (25-річний період, з 1971 до 1996 р.), над територією Росії (період 1951-2000 рр.) та над Україною (період 1961-2008 рр.) [3-6].

У [3] за даними 5400 станцій, які охоплюють усю земну кулю, отримано, що глобальний середній хмарний покрив над суходолом має від'ємний тренд (0,7 %/10 років), а над океаном – додатний (0,4 %/10 років). За широтою хмарний покрив має додатний тренд узимку та навесні в арктич-