

Б.Н.Лєсков, канд.геогр.наук., **Л.І.Смородінцева**
Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АКТИВНИХ ВПЛИВІВ НА АТМОСФЕРНІ ПРОЦЕСИ

На основі результатів експериментальних досліджень показано, що зміни фізичних параметрів атмосфери в результаті впливу на хмари різними реагентами не перевищують тих коливань, яких зазнають ці параметри в природних, не модифікованих впливами умовах. Проведено оцінку змін концентрацій реагентів в атмосфері і водоймах. Кількість додатково введених під час впливів у ці середовища реагентів на порядки менша від гранично допустимих для різних екосистем концентрацій (ГДК). Масштаби впливів і кількісні значення дозувань реагентів, що реалізуються в наш час, виключають можливість порушення екологічної рівноваги в природі і не можуть викликати негативних наслідків для різних екосистем.

Ключові слова: активні впливи, йодисте срібло, концентрація реагенту.

Вступ. Активні впливи на атмосферні процеси поступово збільшують свої масштаби. Найбільш інтенсивно в останні десятиріччя вони розвивались в наступних трьох векторах:

- 1) впливи на хмари різних типів з метою збільшення (регулювання) опадів;
- 2) впливи на потужні грозові купчасто-дошові хмари з метою запобігання градовим процесам;
- 3) розсіювання переохолоджених хмар та туманів для розкриття аеродромів та інших об'єктів.

В зв'язку з таким втручанням у перебіг природних процесів постає питання: в якій мірі прийнятні такі впливи для різних екосистем. Вплив модифікації погодних умов необхідно оцінювати в двох різних векторах. В першу чергу необхідно виявити межі змін фізичних параметрів атмосфери в результаті впливу і оцінити, в якому співвідношенні вони знаходяться з природними коливаннями параметрів атмосфери. По-друге, необхідно оцінити можливий вплив самих реагентів, які вводяться в хмари і атмосферу, на різні екосистеми.

Матеріали і методика дослідження. Для виконання першої частини поставленої задачі були використані матеріали експериментів і публікацій авторів, а також інших дослідників. Аналіз змін параметрів хмар, атмосфери і опадів, які відбувались в результаті впливів, співставлялись з природними коливаннями цих характеристик.

Для відповіді на питання, в якій мірі самі реагенти, насамперед, йодисте срібло (AgI) і, окремо, срібло і йод, як забруднюючі інгредієнти можуть впливати на різні екосистеми, були проаналізовані матеріали досліджень, проведених вченими протиградової служби республіки Молдова, Високогірного геофізичного Інституту (ВГІ, м.Нальчик, Росія) та Центральної аерологічної обсерваторії (ЦАО, м. Долгопрудний, Московської області, Росія).

Результати дослідження та їх аналіз. В результаті проведення великої кількості експериментів було встановлено, що впливи на переохоложені шари хмар (температура яких нижче 0°) різними реагентами призводять не тільки до одержання бажаного (чи планованого) результату (збільшення кількості опадів, припинення або послаблення градового процесу, розсіювання хмар та туманів над локальними об'єктами), а й супроводжуються змінами деяких фізичних параметрів атмосфери. В процесі проведення спеціальних експериментів, в яких вивчались зміни параметрів засіяних реагентами хмар, було помічено, що в них відбуваються значні зміни, табл. 1.

Таблиця 1 – Зміни параметрів атмосфери в зоні активних впливів

Параметр	В хмарах	На землі
Температура, °С	від +0,2 до +1,5	від -9 до +5
Відносні зміни кількості опадів, %	-	від +10 до +30
Тиск, гПа	-	до ±1
Водність хмар, г/м ³	зона: від 0,0 до 0,1 контроль від 0,05 до 2,5	-
Концентрація кристалів, Нсм ⁻³	зона: 0,1 -10 контроль 0,001-1,0	-

Наприклад, після введення у переохолоджені хмари холодореагентів (твердий CO₂, рідкий азот) або речовин, кристалічна структура яких ізоморфна льоду (AgI, PbI₂) відбувається кристалізація хмари. Краплі у хмарі повністю зникають, і вона стає кристалічною. При цьому у зоні штучної кристалізації концентрація кристалів буває досить високою – до 1-10 см⁻³ [6]. Але це майже на 2-3 порядки менше концентрації крапель у хмарах і туманах (5·10²–10³ см⁻³). Це свідчить про те, що кристали мають масу на порядки більшу, ніж крапельки, з яких вони утворились.

Якщо ж впливи проводились на змішані за фазовим станом шари хмарних систем Ns-As, то концентрація кристалів у зонах впливу відносно природного фону збільшувалась на 1-2 порядки [6,12]. Одночасно у зонах кристалізації, внаслідок виділення тепла кристалізації, температура підвищувалась на 0,2-0,6⁰ С (максимально на 1,5⁰) [12,13].

Але ці зміни цілком відповідають і природним процесам, які відбуваються у хмарах. Процес утворення опадів у помірних і високих широтах Земної кулі відбувається у відповідності з фізичним механізмом Вегенера-Бержерона-Фіндайзена (ВБФ) [16-18]. Відповідно механізмові ВБФ частинки опадів утворюються із зародкових кристалів, які виростають за рахунок тієї частки водяної пари, що відповідає різниці тисків насичення над водою і льодом, а також тієї кількості водяної пари, що утворюється через випаровування крапель. Крім того, практика польотів у хмарах показала, що їх температурний режим змінюється і ці коливання по маршруту польоту можуть для однієї і тієї ж висоти перевищувати 0,5-1,0⁰С на 10 км шляху. Таким чином, зміни температури повітря в зонах впливу навіть менші від природних коливань. Однак, такі впливи можуть зумовлювати деякі зміни погодних умов на земній поверхні і можливості таких змін досліджувались [1,3,10,12-14].

Суттєві зміни погодних умов можуть відбуватись в результаті розсіювання хмар та туманів. Впливи з метою розсіювання хмар та туманів для розкриття аеродромів та інших об'єктів призводять до утворення безхмарних зон площею 500-1000 км². У спеціальних експериментах хмари розсіювали на території до 10000 км² і більше. Розсіювання туману збільшує дальність видимості з 50-200м до 1-2 км, а інколи і більше. Якої-небудь шкоди природі розсіювання туману завдати не може. Більше того, зменшення тривалості туману може мати лише позитивне значення, бо це може запобігти намерзанню ожеледі на деревах та лініях електропередач і зменшити ймовірність їх пошкоджень.

У значних за площею зонах розсіювання хмар та туманів можуть змінюватись фізичні параметри атмосфери. Якщо земна поверхня покрита снігом, то в нічні години в зоні розсіювання температура може знизитись на 2-5⁰С або й більше порівняно з оточенням, де хмари та тумани не розсіювались [10].

Наприклад, 11 січня 1960 р. поблизу м. Актюбінськ проводився масштабний експеримент по розсіюванню високо-купчастих хмар (Ac), які спостерігалися на висотах 2200м (температура мінус 10,9°C) і 3100 м (температура мінус 15,8°C). Експеримент почався о 07 год 02 хв. Використовувався твердий CO₂ (750 г/км). Близько 10 год площа зони розкриття досягла 1000 км². Після 11 год ця зона почала самостійно розширюватися і до 20 год досягла площі 18000 км². Температура в зоні порівняно з оточенням була нижчою на 9°C, а атмосферний тиск збільшився на 1мб (холодніше повітря важче).

Якщо підстильна поверхня не покрита снігом, то денна температура повітря в зоні розсіювання, а також температура поверхні землі, може підвищуватися на 1-3 °C [10]. При збільшенні площі розсіювання і тривалості знаходження зони просвіту над даним пунктом міра підвищення може збільшуватись. Такі зміни не виходять за межі природних коливань і не зашкодять довкіллю. Наприклад, при переміщенні атмосферних фронтів температура повітря може змінюватись на 10-15⁰C або й більше. Однак дані експериментів показують, що в деяких межах регулювання термічного режиму при значних територіальних і часових масштабах впливу можливе.

Розглянемо тепер можливий вплив на природу збільшення кількості опадів. За даними літературних джерел, в яких аналізуються результати експериментальних досліджень, рівень збільшення опадів у переважній більшості наукових і виробничих проектів лежить у межах 10-30%. У невеликій кількості випадків рівень збільшення дещо нижчий (10%) або перевищує 30%, досягаючи в поодиноких експериментах 50% і більше [11,12].

Приймаючи більш надійні середні дані (10-30%), можемо дійти висновку, що така зміна в кількості опадів значно менше кліматичних коливань, які часто перевищують 30%. З екологічної точки зору вказане збільшення опадів у зонах їх природного дефіциту може мати лише позитивне значення.

Ще один цікавий ефект можливий при збільшенні атмосферних опадів у зимовий період року. Може трапитись ситуація, коли штучні опади випадають на непокриту снігом земну поверхню. У цьому випадку, крім прямого ефекту від збільшення кількості опадів, може мати місце і додатковий ефект – утеплюючий вплив снігового покриву. У разі сильного похолодання сніговий покрив навіть невеликої висоти (до 2-5 см) може зменшити міру охолодження ґрунту і дещо підвищити температуру на глибині вузла кущіння (≈3 см). Це може зменшити вимерзання озимих культур. Такий випадок мав місце у січні 1972р., коли 10 і 12 січня на експериментальному метеорологічному полігоні (Дніпропетровська область, Україна), було проведено два експерименти із засіву хмарних систем Ns-As. В результаті було визначено дві зони (80000 га - 10 січня і 30000 га – 12 січня), де утворився сніговий покрив, висота якого могла скласти 1-2 см (10.01.1972р.) і до 1 см (12.01.1972р.). А наступного дня 13 січня 1972р. почалось сильне похолодання. Температура у другій і третій декаді січня в окремі дні знижувалась до мінус 30⁰. Це призвело до вимерзання озимини на великих площах. Але в зонах випадіння снігу, який утворився в результаті впливу на хмари, площа пересіву озимини навесні (24%) була вдвічі меншою, ніж на оточуючій контрольній території (46%) [14]. А у Софіївському районі, що попав в центр першої зони, було пересіяно не більше 6% площ озимини.

Таке втручання в перебіг природних процесів може мати лише позитивний вплив на різні екосистеми.

Розглянемо тепер інший аспект – можливість впливу на атмосферу і різні екосистеми самих реагентів, що застосовуються при модифікації хмар та туманів. Застосування таких холодореагентів як твердий CO₂ і рідкий азот (N₂) не може змінити склад атмосфери і зашкодити екосистемам, бо самі ці речовини входять до складу

атмосфери. В операціях впливу на відрізок в 1км траси польоту в хмари вводиться від 0,1 до 1,0 кг CO₂ або N₂. Оскільки до складу атмосфери входить 0,0314% CO₂ (або 4,05·10²т в 1 км³) і 78,084% N₂ (або 1,007·10⁶т в 1 км³), а введені в атмосферу 0,1-1,0 кг CO₂ або N₂ розсіюються за 30-40 хв в об'ємах до 10 км³, то не може бути навіть мови про які-небудь зміни в хімічному складі атмосфери. В екологічному відношенні ці холодореагенти слід вважати ідеальними.

Йодисте срібло (AgI) вводиться під час впливу на хмари в кількості, що не перевищує 1-10г/км. В результаті турбулентного перемішування за 30-40хв ця кількість реагенту розповсюдиться на об'єм до 10 км³. В результаті цього процесу концентрація реагенту в хмарі складе від 1·10⁻¹⁰ до 1·10⁻⁹ г/м³.

Пороговою концентрацією срібла для водних безхребетних вважається 30-150 мкг/л, або 3·10⁻⁵-1,5·10⁻⁴ г/л. Деяким вищим рослинам срібло може зашкодити при вмісті 10 мкг/л (10⁻⁵ г/л). Присутність срібла у ґрунті виявляє пригнічуючу дію на окремі види бактерій [7,8,15].

Гранично допустима концентрація (ГДК) срібла у воді складає 5·10⁻⁵ г/л. У повітрі середньодобовий вміст срібла не нормується. Але в робочій зоні ГДК в повітрі визначається в 10⁻⁵ г/м³ [15].

Вміст свинцю, срібла і йоду, фоновий і модифікований впливами на градові процеси, вивчався в Молдові і на Північному Кавказі. Дослідження на Північному Кавказі показали, що підвищена концентрація срібла і свинцю може спостерігатися як в день застосування реагентів, так і в наступні 1-2 дні [4,5,7,8]. Варто зазначити, що використання йодистого свинцю припинено через його токсичність ще в минулому столітті. В Молдові в водоймах на контрольній території (КТ), де не було впливів, концентрація срібла була в межах 2,2-3,4·10⁻⁶ г/л. На території, яка захищається (ЗТ), у робочий сезон (літо) концентрація срібла у водоймах досягла 3,3-6,2·10⁻⁶ г/л (Потапов Є.І.) [2,15]. У повітрі біля земної поверхні в зоні впливів концентрація срібла становила 6·10⁻⁹-4,3·10⁻⁸ г/м³.

Фоновий вміст йоду в опадах на європейському континенті складає 2,3·10⁻⁶ г/л (материк – в зоні відсутності антропогенних джерел). Поблизу морів концентрація йоду може досягати 5·10⁻⁵ г/м³. На Північному Кавказі в опадах концентрація йоду в дні впливу на хмари була 1,1·10⁻⁶ г/л, а в дні без впливу 1,5·10⁻⁷ г/л [9].

Таким чином, можна зробити висновок, що вплив на хмари із застосуванням йодистого срібла (AgI) при дозуванні 10⁻¹⁰-10⁻⁹ г/м³ з екологічної точки зору є абсолютно безпечним, оскільки ці значення на порядки менше ГДК для цієї речовини.

На юридичний аспект проблеми активних впливів вперше вказали американські вчені ще в середині 60-х років минулого століття. Ці питання виникли з тих міркувань, що, наприклад, проведення робіт із збільшення опадів в якомусь із штатів може негативно вплинути на ситуацію у сусідньому штаті. Такі питання можуть виникати і в інших географічних районах. Слід, правда, зазначити, що в основі цих проблем лежить неповна вивченість питання щодо змін кількості опадів вниз по потоку за зоною впливів.

В УкрНДГМІ ще в минулому столітті було доведено, що при реалізованих тоді масштабах впливів (довжина лінії засіву 20-25км) зон зменшення опадів не виявлено у смузі (вниз по потоку), протяжність якої відповідала 2-3 годинному переносу (100-200км). Навпаки, на протязі 2-3 годинного переносу фіксується збільшення кількості опадів [12]. Однак цей результат не знімає питання, що буде далі вниз по потоку при збільшенні масштабів впливу у кілька разів (довжина лінії впливу 100-200 км і більше і дослідження змін опадів вниз по потоку на відстань до 500 км і більше).

Для з'ясування цих питань потрібно проведення експериментів масштабу циклонів. А їх результати і могли б бути тим фізичним підґрунтям, яке стало б основою для вирішення юридичних проблем активних впливів.

А ргіогі можна стверджувати, що, в цілому, активні впливи будуть позитивно сприйматись суспільством, оскільки дають великий економічний ефект (на одну витрачену одиницю коштів отримується у 5-10 разів більше прибутку). В цьому відношенні варто очікувати, що збільшення в оптимальних масштабах площ впливу дасть і позитивний соціальний ефект.

Проте у цій проблемі не все так просто. Існує ще й соціально-психологічна проблема. Причина її появи - необізнаність населення у цих питаннях. Повна відсутність об'єктивної, достовірної і конкретної інформації не дає можливості населенню правильно орієнтуватись у цій проблемі. Про ці проблеми вкрай мало пише преса, її практично нема на радіо і телебаченні.

В результаті населення схильне негативно реагувати на активні впливи. В свій час, коли в 1961-1962 рр. проводились лише епізодичні експерименти із впливів на конвективні хмари на Самсарському полігоні (район високогірного озера Тапаравані, Грузія), місцеве населення посуху у цих місцях пов'язало з тим, що впливи "розбивають" хмари і тому нема дощів. До експериментаторів висувались претензії, що вони наносять шкоду і справа часом доходила до проявів агресивності з боку місцевого населення.

Аналогічні проблеми час від часу з'являлись у Молдові і Одеській області, де проводились регулярні впливи на хмари з метою придушення градових процесів.

Ще давньогрецький філософ Платон стверджував, що невігластво – важкий тягар. Отже, проблема ця, з інших причин, існувала і тоді. А оскільки всіляких питань і необізнаних людей вистачає, то проблема ця житиме вічно.

Але, коли мова йде конкретно про активні впливи, необхідна, все-таки, чітка програма інформування населення про проблеми і наслідки активних впливів. Ця інформація повинна реалізовуватись у всіх векторах – за допомогою преси, телебачення, радіо.

Висновки. Вся сукупність інформацій відносно змін фізичних параметрів атмосфери під час активних впливів на хмари і тумани з використанням різних реагентів дає можливість сформулювати наступні висновки.

1. Зміни фізичних параметрів хмар, атмосфери, опадів, при реалізованих масштабах впливів, менше тих змін, які відбуваються у цих системах з природних причин.

2. Кількість реагентів, що використовуються для активних впливів і вводяться в хмари і атмосферу, на порядки менше ГДК цих речовин. Крім того, ці речовини природно знаходяться в цих середовищах у кількостях, що значно перевищують рівень об'ємних дозувань реагентів.

3. Масштаби впливів і кількісні значення дозувань реагентів, що реалізуються в наш час, практично виключають можливість порушення екологічної рівноваги в природі і не можуть викликати негативних наслідків для різних екосистем.

Список літератури

1. *Александров Э.Л.* Опыты по рассеянию переохлажденной облачности на больших площадях // Труды ИПГ. – 1965. – №1. – С.12-18.
2. *Архаров А.В., Иценко В.Б., Зотов Е.И., Никорич В.А., Никорич Т.Д., Потапов Е.И.* Содержание серебра в водоемах и воздухе в районах активных воздействий на территории Молдавии // Труды ЦАО. – 1992. – № 177. – С.123-134.
3. *Беляев В.И., Павлова И.С.* О возможности влияния на погоду искусственным рассеянием облачности // Изд. АН СССР. Сер. Геофизическая. – 1962. – №1. – С.129-133.
4. *Бурцев И.И., Бурцева Л.В., Воробьева Т.И., Шведов С.В.* Об изменении содержания свинца в приземном воздухе в районах проведения противогорадовых работ // Труды ВГИ. – 1977. – № 25. – С.91-97.
5. *Бурцев И.И., Воробьева Т.И., Черняк М.М.* Исследование вымывания йодистого серебра из конвективных облаков при активных воздействиях на градовые процессы. // Труды ВГИ. – 1985. – № 59. – 1985. – С.121-128.
6. *Волков А.Д., Лесков Б.Н.* Некоторые результаты измерения концентрации ледяных частиц в слоисто-дождевых облаках, подвергнутых воздействию // Труды УкрНИГМИ. – 1972. – № 118. – С.81-88.
7. *Воробьева Т.И.* О влиянии противогорадовых работ на изменение концентрации серебра на Северном Кавказе // Труды ВГИ. – 1982. – № 51. - С.127-139.
8. *Воробьева Т.И., Гущина Л.П. и др.* Влияние противогорадовых работ на загрязнение атмосферы и осадков продуктами активных воздействий на градовые процессы // Труды ВГИ. – №74. – С.146-161.
9. *Гаджиева М.М.* Содержание йода в атмосферных осадках в районе активных воздействий // Труды ВГИ. – 1987. – № 69. – С.87-92.
10. *Горб А.С., Корниенко Е.Е., Рожанец С.М., Собянин Б.М.* Об изменении радиационного и термического режима в зонах искусственного рассеяния переохлажденной слоистообразной облачности // Труды УкрНИГМИ. – 1991. – № 242. – С.97-102.
11. *Корниенко Е.Е., Смородинцева Л.И.* Влияние засева кучево-дождевых облаков йодистым серебром на некоторые характеристики выпадающих из них осадков // Труды УкрНИГМИ. – 1980. – № 179. – С.43-51.
12. *Лесков Б.Н.* Результаты воздействий на фронтальные облака с целью увеличения осадков в холодный период года // Труды УкрНИГМИ. – 1973. – № 114. – С.124-137.
13. *Лесков Б.Н., Неробеева Т.Д.* Предварительные данные об эволюции фронтальных облаков, подвергнутых воздействию // Труды УкрНИГМИ. – 1973. – № 125. – С.76-86.
14. *Лесков Б.Н., Раменский Л.А., Фурман А.И.* Влияние твердых искусственных осадков на перезимовку озимых культур // Труды УкрНИГМИ. – 1975. – № 144. – С.135-140.
15. *Потапов Е.И.* Содержание серебра в природных объектах в районах противогорадовой защиты в Республике Молдова // Активное воздействие на градовые процессы в Молдове. – 2004. – № 4. – С.201-216.
16. *Bergeron T.* On the physics of clouds and precipitation, Proces Verbaux de l'Association de Météorologie, International Union of Geodesy and Geophysics. – Paris, 1935. – pp.156-178.

17. *Findeisen W.* Die Kolloidmeteorologischen Vorgänge bei Niederschlagsbildung // Meteorologische Zeitschrift. – Vol.55. –1938. – pp.121-133.

18. *Wegener A.* Thermodynamik der Atmosphäre. – Leipzig, 1911. – 311 p.

Экологические аспекты активных воздействий на атмосферные процессы.

Лесков Б.Н., Смородинцева Л.И.

На основе результатов экспериментальных исследований показано, что изменения физических параметров атмосферы в результате воздействия на облака разными реагентами не превышают тех колебаний, которые испытывают эти параметры в природных, не модифицированных влияниями условиях. Проведена оценка изменений концентраций реагентов в атмосфере и водоемах. Количество дополнительно введенных во время воздействия в эти среды реагентов на порядки меньше от предельно допустимых для разных экосистем концентраций (ПДК). Масштабы воздействий и количественные значения дозирования реагентов, что реализуются в наше время, исключают возможность нарушения экологического равновесия в природе и не могут вызывать негативных последствий для разных экосистем.

Ключевые слова: активные воздействия, йодистое серебро, концентрация реагента.

Ecological aspects of active influences on atmospheric processes.

Leskov B.N., Smorodintseva L.I.

It is shown on the basis of results of experimental researches, that the changes of physical parameters of atmosphere as a result of influence on clouds by different reagents do not exceed those vibrations which test these parameters in environmental, not modified by influencing conditions. Estimation of changes of concentrations of reagents in an atmosphere and reservoirs is conducted. An amount additionally entered during influence on these areas of reagents on orders is less from maximum possible for different ecosystem concentrations (MPC). The scales of influences and quantitative values of dosage of reagents, that will be realized in our time, eliminate possibility of violation of ecological equilibrium in nature and can not cause the negative consequences for different ecosystem.

Keywords: active influences, iodine silver, concentration of reagent.