

УДК 551.578.4

Ромаш Т. А.

Український науково-дослідний гідрометеорологічний
інститут

СНІГОПАДИ ЯК ОБ'ЄКТ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ І СУЧАСНІСТЬ

У статті викладено інформацію щодо історії та сучасного стану досліджень, пов'язаних з умовами формування сильних снігопадів, окреслено проблемні питання та визначено перспективні напрямки досліджень.

Ключові слова: снігопад, історія, метеорологія, спостереження.

Вступ. Проведення наукових досліджень у будь-якій галузі науки ґрунтується на аналізі вже існуючого наукового доробку з метою встановлення рівня розвитку даної теми та визначення перспективних напрямів досліджень. У наш час небезпечні та стихійні метеорологічні явища, які часто стають причиною значних збитків, перебувають у центрі уваги науковців, а їх вивчення є одним з важливих завдань метеорологічних досліджень. Однак робіт присвячених історії досліджень фізичної основи механізмів розвитку опадоутворюючих процесів невелика кількість. Тому наразі аналіз наукових публікацій, присвячених умовам їх формування має значну практичну і теоретичну цінність, а самі дослідження з використанням накопичених раніше знань є актуальними та необхідними.

Цілі і методи. Метою дослідження є аналіз ступеня вивченості хмаро- та опадоутворюючих процесів, що призводять до сильних снігопадів із визначенням основних напрямків досліджень у минулому та сучасному та перспектив подальших робіт. Основою дослідження стали вітчизняні та зарубіжні наукові публікації, тези доповідей, монографії, присвячені процесам хмаро- та опадоутворення у зимовий період, що призвели до сильних снігопадів. В основу даної роботи покладено методи систематизації та узагальнення наукової інформації.

Виклад основного матеріалу. Вивченню причин та механізмів утворення хмар та опадів приділялась увага науковців з перших кроків розвитку науки. Одним з найдавніших наукових пояснень цих процесів є гіпотези Аристотеля про опади, що ґрунтуються на його вченні про чотири стихії. У різних працях він допускав можливість перетворення повітря на воду, а утворення опадів пояснював охолодженням повітря [22].

Період найактивнішого розвитку метеорологічної науки загалом і власне фізики атмосфери, що детально вивчає процеси хмаро- та опадоутворення припадає на ХХ-ХХІ ст. Згідно гіпотез Дж. Хеттона, Г. Дове та Р. Фіцроя вважалося, що головним механізмом утворення опадів є конденсаційні процеси. Проте наступні дослідження виявили, що ріст краплі за рахунок конденсації є дуже тривалим, що не відповідає реальному часу утворення опадів. У 1904 р. О.І. Воєйков висловив думку про вплив сили тяжіння як головної причини злиття крапель, що забезпечує їх ріст при наявності висхідних рухів. Також О. І. Воєйков разом з О. І. Бачинським звертали увагу на роль часток твердої фази в процесі опадоутворення, що пізніше було підтверджено Т. Бержероном та В. Фіндайzenом [27].

За теорією, запропонованою в 30-х рр. ХХ ст. Бержероном, та доповненою в 40-х рр. Фіндайzenом опади утворюються в змішаних хмарах, тобто за наявності твердої фази. Висновки авторів ґрунтувалися на дослідженнях у межах помірного кліматичного поясу, які показували, що більшість опадів випадає з хмар, верхня частина яких знаходиться вище рівня нульової ізотерми. Згідно лабораторних досліджень вони дійшли висновку, що в області існування твердої та рідкої фаз води має відбуватися дифузійне «перекачування» водяної пари з крапель на кристали та забезпечувати швидкий ріст останніх, так як пружність насичення над їх поверхнею менша, ніж оточуючих переохолоджених крапель. Бержерон вважав, що виникнення льодяних кристалів у хмарах пов'язане з льодяними ядрами, які утворюються в процесі сублімації за дуже низьких температур, а опади утворюються тоді, коли хмара у своєму вертикальному розвитку досягає «рівня льодяних ядер». В. Фіндайzen пізніше ввів поняття ядер сублімації, які існують в атмосфері разом з ядрами конденсації. Ці ядра сприяють сублімаційному утворенню кристалів, коли хмара досягає «рівня сублімації» за температури $-10^{\circ}\dots-12^{\circ}\text{C}$. У 1939 р. учений доповнив

схему Бержерона розрахунком росту крупних крапель за рахунок коагуляції з дрібними хмарними краплями протягом падіння крізь хмару[27].

Дана схема опадоутворення була покладена в основу подальших досліджень, які розвивалися швидкими темпами завдяки росту можливостей обчислювальної техніки та використання літакових зондувань з метою збору емпіричного матеріалу. Дослідження механізмів хмаро- та опадоутворення сконцентрувалися на розгляді окремих випадків та проводилися одночасно у декількох напрямках: кліматологічному, синоптичному та чисельного моделювання. Кліматологічний підхід передбачає розгляд поширення та повторюваності явища на певній території. Синоптичні дослідження та чисельне моделювання сильних опадів застосовуються для детальнішого вивчення окремих випадків виникнення та розвитку мезомасштабних смуг хмарності, де формуються сильні снігопади.

На кінці 60-х – поч. 70-х рр. ХХ ст. групою вчених Національного Метеорологічного Центру (США, Вашингтон) на чолі з Р. Юнкіном було виконано серію досліджень, пов'язаних із сильними снігопадами на території США. Ними було визначено синоптичні умови, за яких вони найчастіше випадають в центральному та східному регіонах країни, а також виділено основні типи циркуляції, пов'язані з сильними снігопадами [42], виявлено підвищення циркуляції в області низького тиску на рівні 850 гПа протягом 12 год. випадіння снігопадів [43]. Е. Брандес та Дж. Спар показали [33], що сильні снігопади пов'язані з вторинним циклогенезом, а їх початок співпадає з появою замкнутої ізобари на рівні 850 гПа та значної кількості вологи, що поширюється уздовж узбережжя і розміщується у стовпі повітря, нахиленому в північно-східному напрямі між висотами 850 та 500 гПа, та за температури повітря від нуля до -5°C .

Вітчизняні вчені також приділяли увагу метеорологічним умовам, за яких формуються сильні снігопади. Так у [21] проаналізовано повторюваність сильних снігопадів в Україні та Молдові при різних значеннях температури. Їх максимум (32%) припадає на інтервал температур повітря від нуля до -2°C . Майже половина випадків відмічалась за температури від -2°C до 2°C . Автори пояснили це тим, що чим вища температура повітряних мас, в яких формуються опади, тим більший вологозапас вони мають,

що у свою чергу сприяє збільшенню їх кількості. У [21] також виділено групи синоптичних процесів, за яких формуються сильні снігопади в Україні, а саме середземноморські, західні, північно-західні, улоговинні, місцеві циклони та малорухомі фронти.

Метеорологічні і синоптичні умови утворення сильних снігопадів, а також результати дослідження взаємозв'язків опадів з термодинамічними параметрами атмосфери, отримані шляхом кореляційного аналізу, були висвітлені в [28]. Тут же запропоновано синоптико-статистичний метод прогнозу небезпечних та стихійних снігопадів. Оцінку синоптичних умов та термодинамічних характеристик атмосфери, що зумовлюють формування та випадіння небезпечно сильних опадів у холодний період року в Україні було проведено Заблоцькою Т. М. та ін. [13]. Ними виділено область з підвищеною повторюваністю небезпечно сильних опадів (НСО). Серед головних чинників утворення НСО було виділено блокуючий процес, значне зростання впорядкованих висхідних рухів та мінімальний дефіцит точки роси та виявлено, що випадіння сильних опадів у холодний період року супроводжується незвичним для атмосфери вертикальним розподілом вологи, а саме, накопиченням її в опадоутворюючому прошарку (850-700 гПа).

Вагомий внесок у розвиток досліджень опадоутворення становить аналіз даних літакових зондувань. Так, у [1, 5, 15], показано, що всі хмари, які дають опади твердої фази, є змішаними. У роботах [14, 21] стверджується, що шаруватоподібна хмара, з якої випадають облогові опади має дві зони. В одній з них, верхній частині хмари над лінією кристалізації (термін введений Л.Г. Качуріним і детально розглянутий В.С. Атоновим), відбувається інтенсивний процес утворення природних льодяних зародків, що впливає на кількість часток опадів. У другій зоні (область переохолоджених крапель, де відбувається активний ріст льодяних кристалів та утворення опадів) визначається їх розмір. У одній з робіт Пономаренко І. Н. [25] наведені особливості параметрів хмарних систем при випадінні значних облогових опадів. На основі результатів польотів літаків над експериментальним метеорологічним полігоном УкрНДГМІ та частково над іншими районами було показано, що хмари змішаного фазового стану дуже рідко не дають опадів. Із польотів у хмарних системах із значними опадами 90,5% припадали на хмари зі змішаною фазою, 9,5% – на кристалічну, що підтверджується в

роботах [5, 15].

На початку 1980-х років випадками сильних снігопадів та роллю в їх формуванні кінематичних, термодинамічних та мікрофізичних умов займалась група вчених університету Вайомінгу на чолі з А. Ауером [31, 32]. За його розрахунками близько 77% сильних снігопадів припадають на випадки, коли на висоті 500 гПа температура була в межах від -22 до -25°C , на висоті 700 гПа – від -5 до -8°C , а на висоті 600 гПа – від -14 до -16°C . А. Ауер також розглядав можливість поліпшення прогнозування сильних снігопадів [30] за рахунок доповнення концептуальної моделі руху повітря в циклоні термічним блоком, запропонованим в [32], з метою визначення надійних факторів кінематичної та термодинамічної структури для подальшого прогнозування сильних снігопадів.

Велика заслуга у дослідженні умов формування сильних опадів належить відділу фізики хмар Університету штату Вашингтон під керівництвом провідного американського вченого П. Хоббса. Тривалий час вони займалися вивченням мезо- та мікро масштабної структури хмар та опадів у циклонах, природою хмар холодного періоду та пов'язаними із ними опадами [37].

Національна лабораторія сильних штормів (NSSL) Національного управління з атмосферних і океанічних досліджень (NOAA) має у своєму складі групу вчених, яка займається аналізом випадків сильних снігопадів та методами їх прогнозування [38, 41]. Над вивченням термодинамічних та мікрофізичних умов формування різних типів зимових опадів також працює група канадських учених університету МакГіл (Монреаль). Дж. Теріаулт та інші розглядають залежність типів опадів від температури, інтенсивності опадів та пов'язаних з ними характеристик [40]. Крім термодинамічних характеристик ця ж група займається параметризацією мікрофізичних процесів, розробкою блоків, що відповідають за процеси танення та повторного замерзання [39]. Запропоновані канадськими вченими схеми дозволяють краще відобразити утворення часток змішаної фази, що пізніше призводять до утворення різних типів опадів.

Найбільш показовим засобом для дослідження процесів хмаро- та опадоутворення є метод чисельного моделювання. Наразі чисельні моделі є одним з основних засобів оперативних прогнозів та досліджень. У чисельному моделюванні хмар та опадів

виділяють три підходи: гідродинамічний, параметризаційний та мікрофізичний [29].

Гідродинамічний підхід передбачає розгляд хмари як певного об'єму вологи, за допомогою макрофізичних величин. Такий підхід дає можливість отримати кількісні характеристики хмар та опадів. У гідродинамічних моделях утворення опадів залежить від вологозапасу, умов випаровування та конденсації водяної пари і висхідних рухів, а характеристики вологості залежать від просторово-часового розподілу температури [2, 4]. Розробкою гідродинамічного підходу прогнозування погоди займався Дюбюк А. Ф. [12] У його роботах кількість опадів розраховувалась через тиск і вологовміст. Основою підходу було припущення про повне випадання усього конденсату, що утвориться в атмосфері в якості опадів. Подальший розвиток гідродинамічний підхід моделювання отримав у роботах Л. Т. Матвеева та його учнів. Вони розробляли моделі утворення й еволюції шаруватої хмарності у турбулентній атмосфері. У моделях використовувалися тільки дві фази води в хмарах – пара і вода. Тоді як у роботах Г. І. Марчука [20] у схемі розвитку хмарності уже враховується не тільки рідка, але і тверда фаза. Модель прогнозу вологості, хмарності та опадів, в якій враховувалася величина, що залежить від дефіциту впитомої вологості та водності була побудована Димніковим В. П. та ін. [9, 10]. За нею опади випадають коли волога досягає певного граничного значення водності. Успенським Б. Д., Мерцаловим А. Н. та Петриченко І. А. [24] розроблена 5-рівнева синоптико-гідродинамічна схема прогнозу облогових і зливових опадів. Однією з найбільш повних моделей прогнозу опадів, заснованій на обчисленні макрофізичних величин є 10-рівнева атмосферна модель прогнозу фронтальних опадів Бушбі та Тімсона [34].

У параметризаційному підході хмара розглядається як сукупність часток, властивості яких параметризуються, процеси конденсації та коагуляції розраховуються через рівняння швидкості росту часток. Качурін Л.Г. [14] виконав перші роботи з розрахунку опадів із хмар шаруватих форм. Ним було враховано зародження часток, їх конденсаційний і сублимаційний ріст. Значний вклад у розвиток цього напрямку вніс Волощук В. М., який займався дослідженням процесів коагуляції у хмарах [6-8].

Мікрофізичний підхід реалізується за рахунок описання

мікрофізичних процесів із використанням кінетичних рівнянь для функції розподілу хмарних часток за розмірами. М. В. Буйков і його учні (Пірнач Г. М., Хворостьянов В. І., Талерко М. М.) в Україні створили перші моделі як двофазної, так і трифазної шаруватоподібної і конвективної хмарності, котрі ґрунтувалися на системі рівнянь термодинаміки і кінетичному рівнянні для функцій розподілу часток за розмірами. Цей підхід найбільш вдало відображає процеси хмаро- та опадоутворення, оскільки включає в себе моделювання мікрофізичних процесів утворення і росту хмарних часток під час конденсації та коагуляції, замерзання крапель тощо. Саме тому для більш точного якісного та кількісного прогнозування сильних снігопадів варто застосовувати моделі, що містять мікрофізичні блоки.

Активні впливи на гідрометеорологічні процеси як ефективний засіб регулювання атмосферних опадів. Перші спроби активних впливів на хмари були зроблені в ХІХ ст. Тоді для обстрілу хмар застосовували артилерійські снаряди, які мали їх розсіяти. У кінці ХІХ ст. було запропоновано використання твердої вуглекислоти, але більш широкі роботи по її застосуванню почались з 1946 р. [22]. Пізніше почали використовувати реагенти, що мають кристалічну решітку подібну до льоду (йодоване срібло, свинець та ін.). В Україні такі дослідження проводились починаючи з 1959 р. Велика увага приділялась штучному регулюванню зимових опадів шляхом засіву хмар твердою вуглекислотою з літака. У холодне півріччя активні впливи використовувалися для стимуляції опадів із шаруватих та шарувато-купчастих хмар (з грудня по лютий) та інтенсифікації опадів із фронтальних чи близько до них розташованих хмарних систем (з листопада по березень) [16,17]. У 1990-х рр. вчені Головної геофізичної обсерваторії працювали над оцінкою можливості зменшення опадів в холодний період року в районі Ленінграду та розробили відповідну методику по регулюванні опадів [11].

Було доведено, що активні впливи з використанням різних видів реагентів не становлять загрози для екосистеми планети. Речовини, що використовуються як реагенти природно знаходяться у середовищі у значно більшій концентрації, ніж засіваються. Також активні впливи мають незначні масштаби в порівнянні з усією системою, що виключає можливість порушення екологічної

рівноваги в природі [18].

Проблеми та перспективи. Глобальні та регіональні зміни клімату проявляються як у коливанні значень метеорологічних величин, так і в перебудові атмосферної циркуляції [3, 19]. Отож раніше отримані предиктори сильних снігопадів потребують перевірки або уточнення. Незважаючи на той факт, що наприкінці ХХ ст. – на початку ХХІ ст. простежується тенденція до збільшення повторюваності дуже сильних снігопадів [26], відсутніми є також роботи, котрі описували б траєкторії переміщення баричних утворень у багаторічному розрізі, особливості висотного баричного поля тощо.

Зменшення асигнувань наукових досліджень призвело до припинення літакозондувань. У той же час великий науковий і практичний інтерес становить інформація про форми кристалів, вертикальний розподіл вологовмісту хмар (водність, льодність, водяна пара), котрі мають місце під час випадіння сильних снігопадів. Недостатньо висвітленими є питання щодо термодинамічних характеристик хмар, які дають такі опади.

Відсутність емпіричної інформації про мікрофізичні характеристики хмар для подібних випадків (і не тільки) певною мірою гальмує розвиток чисельних моделей, що проявляється у відсутності початкових умов для хмарності. Як наслідок, атмосферні моделі мають період її пристосування до динаміки атмосфери, а сама хмарність та опади відтворюються із часом. Перспективним у даному відношенні видається залучення супутникової та радіолокаційної інформації для подальшої її асиміляції. Калібрування потрібних даних може бути виконаним як шляхом проведення синхронних із дистанційними спостереженнями літакових вимірювань, так і моделюванням, наприклад супутникового сигналу, за допомогою досконалих чисельних мікро фізичних моделей хмар [35].

Висновки. На основі наукового доробку вітчизняних та зарубіжних учених було узагальнено в історичному плані концептуальні положення теорій хмаро- та опадоутворення та наведено результати досліджень атмосферних процесів, що призводять до випадіння снігопадів та сильних снігопадів. Найбільш ефективним засобом дослідження умов опадоутворення завжди було поєднання теоретичних та експериментальних досліджень з використанням всіх наявних даних натурних

вимірювань. Наразі одним з найбільш широко використовуваних є метод чисельного моделювання, який дає змогу уточнити найбільш суттєві характеристики подібних процесів, оцінити вклад основних факторів у формування сильних снігопадів.

В цілому ж формування сильних снігопадів потребує подальшого вивчення впливу окремих умов з метою збільшення точності прогнозування та своєчасного попередження населення. Також актуальним є вивчення активних впливів для зміни кількості опадів або місця їх випадіння.

Рецензент – кандидат географічних наук І. В. Дворецька

Література:

1. Антонов, В. С. Замечания к методу расчета количества обложных осадков /Антонов В.С. // Труды ВГИ – 1968. – Вып. 8. – С.13-24.

2. Багров, Н. А. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Багров Н. А. и др. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.

3. Балабух, В. О. Траекторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року / Балабух В. О. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 103-119.

4. Белов, П. Н. Численные методы прогноза погоды / Белов П. Н., Борисенков Е. П., Панин Б. Д. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 392 с.

5. Боровиков, А. М. Микроструктура фронтальных облаков по данным экспериментальных полетов / А. М. Боровиков, Е. Г. Зак // Труды ЦАО. – 1956. –Вып. 15. – С. 177-191.

6. Волощук, В. М. Кинетическая теория коагуляции / Волощук В. М. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 283 с.

7. Волощук, В. М. Процессы коагуляции в дисперсных системах / В. М. Волощук, Ю. С. Седанов. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 320 с.

8. Волощук, В. М. Коефіцієнт захвату пластини, нормальної до потоку/ Волощук В.М., Скриник О.Я. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – с. 44-52

9. Дымников, В. П. Численный метод прогноза полей влажности, слоистообразной облачности и осадков в атмосфере / В. П. Дымников, Н. В. Гусева// Изв. АН СССР ФАО, – 1975. – Т.11, № 6. – С. 547-553.

10. Дымников, В. П. Неадиабатическая модель краткосрочного прогноза погоды / В. П. Дымников, Л. В. Ишимова // Метеорология и гидрология. – 1979. – № 6. – С.5-13.

11. Довгалюк, Ю. А. Анализ результатов работ по воздействию на облака с целью предотвращения осадков в г. Ленинграде (на примере опыта 7 ноября 1988 г.) / Довгалюк Ю. А. и др. // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 2. – С. 44-53.

12. Дюбюк, А. Ф. К расчету осадков / Дюбюк А. Ф. // Докл. ЦИП. – 1947. – Т. 1, вып. 3. – С. 31-40.

13. Заболоцька, Т. М. Небезпечно сильні опади в Україні та можливі причини їх утворення / Заболоцька Т. М., Підгурська В. М., Шпиталь Т. М. // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2006.– Вип. 255. – С. 25-40.

14. Качурин, Л. Г. Замерзание монодисперсных водных аэрозолей / Качурин Л. Г. // Изв. АН СРСР, сер. геофиз. – 1951. – № 2. – С. 24-32.

15. Кошенко, А. М. Некоторые особенности фазовой структуры фронтальных облаков над Украиной / Кошенко А. М. // Труды УкрНИГМИ. – 1968. – Вып. 75. – С. 58-67.

16. Леонов, М. П. Активные воздействия на облака в холодное полугодие / М. П. Леонов, Г. И. Перелет – Л. : Гидрометеиздат, 1967. – 152 с.

17. Лесков, Б. Н. Результаты воздействий на фронтальные облака с целью увеличения осадков в холодный период года / Лесков Б. Н. // Труды УкрНИГМИ. – 1973. – № 114. – С.124-137.

18. Лесков, Б. Н. Екологічні аспекти активних впливів на атмосферні процеси / Б. Н. Лесков, Л. І. Смородінцева // Український гідрометеорологічний журнал. – 2010. – № 6. – С. 11-17.

19. Мартазінова, В. Ф. Сучасний клімат Київської області / В. Ф. Мартазінова, О. К. Іванова – К. : АБЕРС, 2010. – 70 с.

20. Марчук, Г. И. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации / Марчук Г. И., Дымников В. П., Залесный В. Б. – Л. : Гидрометиздат, 1987. – 295 с.

21. Мейсон, Б. Д. Физика облаков / Мейсон, Б. Д.; пер. с англ. под ред. В. Г. Морачевского, Е. С. Селезневой. – Л. : Гидрометиздат, 1961. – 542 с.

22. Мидлтон, У. История теорий дождя и других форм осадков / Мидлтон У. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 198 с.

23. *Миронченко, Г. В.* Сильные снегопады на территории Украины и Молдавии / Г. В. Миронченко, В. М. Шошин // Труды УкрНИГМИ. – 1989. – Вып. 233 – С. 110-118.

24. *Петриченко, И. А.* Краткосрочный прогноз скорости перемещения зон сильных снегопадов на Европейской территории СССР / И. А. Петриченко и др. // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 12. – С. 43-47.

25. *Пономаренко, И. Н.* Некоторые особенности параметров облачных систем при выпадении значительных обложных осадков / Пономаренко И. Н. // Труды УкрНИГМИ. – 1973. – № 114. – С. 160-175.

26. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / [за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. – К. : Ніка-Центр, 2006. – 312 с.

27. *Шишкин, Н. С.* Облака, осадки и грозное электричество / Шишкин Н. С. – Л. : ГИМИЗ, 1964. – 401 с.

28. *Шошин, В. М.* Сильні снігопади в Україні і можливості їх прогнозування / Шошин В. М., Васько Л. І., Возняк Н. О., Миронченко Г. В. / Перша міжнародна науковопрактична конференція Відкриті еволююючі системи. – 26-27 квітня, 2002, Київ ВМУРол.

29. *Шпиг, В. М.* Чисельний прогноз погоди: минуле, сьогодення, майбутнє. частина I: становлення та розвиток / В. М. Шпиг // Географія і сучасність. – 2010. – Вип. 23. – с. 55-69.

30. *Auer, A. H.* An Aid to forecasting heavy snowfall episodes / Auer A. H. // Natl. Wea. Dig. – 1987. – Vol. 12, Issue 2. – P.11-14.

31. *Auer, A. H.* A supplemental note to the the combined role of kinematics, thermodynamics, and cloud physics associated with heavy snowfall episodes / Auer A. H. // Journal of Met. Soc. of Japan. – 1987. – 65. – P. 299-301.

32. *Auer, A. H.* The combined role of kinematics, thermodynamics, and cloud physics associated with heavy snowfall episodes / A. H. Auer, J. M. White // Journal of Met. Soc. of Japan. – 1982. – 60. – P. 500-507.

33. *Brandes, E. A.* A Search for Necessary Conditions for Heavy Snow on the East Coast / E. A. Brandes, J. Spar // J. Appl. Meteor. – 1971. – Vol.10. – P. 397-409.

34. *Bushby, F. H.* A 10-level atmospheric model and frontal rain / F. H. Bushby, M. S. Timpson // QJRMS. – 1967. – 93. – P. 1-17.

35. *Dorman, B.* Numerical modelling of microphysical and optical characteristics of frontal stratiform clouds [Electronic resource] / B. Dorman, Bakhanov V. – prec. on the 3rd International Conference on Earth System Modelling. – Mode of access: <http://meetingorganizer.copernicus.org/3ICESM/3ICESM-4.pdf>.

36. *Gerrity, J. P.* A physical-numerical model for the predication of synoptic scale low cloudiness/ Gerrity J. P.// *Mon. Wea. Rev.*– 1967.– Vol.95, № 5.– P. 801-812.

37. *Houze, R. A.* Organization and structure of precipitation clouds systems / R. A. Houze, P. V. Hobbs // *Adv. Geophys.* –1982. –24. –P. 225-315.

38. *Moore, R. W.* The Integral Role of a Diabatic Rossby Vortex in a Heavy Snowfall Event / Moore R. W., Montgomery M. T., Davies H. C. // *Mon. Wea. Rev.* – 2008. – 136. – P. 1878–1897.

39. *Thériault, J. M.* A Parameterization of the Microphysical Processes Forming Many Types of Winter Precipitation / J. M. Thériault, R. E. Stewart // *J. Atmos. Sci.* – 2010. – 67. – P. 1492–1508.

40. *Thériault, J. M.* On the Dependence of Winter Precipitation Types on Temperature, Precipitation Rate, and Associated Features / J. M. Thériault, R. E. Stewart // *J. Appl. Meteor. Climatol.* – 2010. – 49. – P. 1429–1442.

41. *Trapp, R. J.* Multiscale Structure and Evolution of an Oklahoma Winter Precipitation Event / Trapp R. J. et al.// *Mon. Wea. Rev.* – 2001. – 129. – P. 486-501.

42. *Younkin, R. J.* Circulation patterns associated with heavy snowfall over the western United States / Younkin R. J. // *Mon. Wea. Rev.* – 1968. – Vol. 96, № 12.– P. 851-853.

43. *Younkin, R. J.* Some Relationships between 850-millibar lows and heavy snow occurrences over the central and eastern United States / R. J. Younkin, R. F. Browne // *Mon. Wea. Rev.* – 1970. – Vol. 98, № 5. – P. 399-401.

Т. А. Ромаш

СНЕГОПАДЫ КАК ОБЪЕКТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

В статье представлена информация об истории и современном состоянии исследований связанных с условиями формирования

сильных снегопадов, очерчено проблемные вопросы и определено перспективные направления исследований.

Ключевые слова: снегопады, чисельное моделирование, активные влияния

T. Romash

SNOWFALL AS AN OBJECT OF METEOROLOGICAL RESEARCH: HISTORY AND PRESENT

The paper presents information on the history and current state of research related to the conditions of heavy snowfall formation, outlines the issues and identifies perspective directions of research.

Key words: snowfall, numerical simulation, active impact

Надійшла до редакції 6 червня 2013 р.