

ВІДГУК

**Офіційного опонента доктора фізико-математичних наук,
професора Волощука Володимира Михайловича на дисертацію
Білого Тараса Анатолійовича «Вплив електричного поля землі
на електричні і мікрофізичні процеси в атмосфері», подану на
здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 04.00.22 – геофізика (103 – науки про Землю)**

1. Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження та її зв'язок із планами і напрямками науково-дослідних робіт наукових установ і організацій, державними і галузевими науковими програмами.

Вивченню мікрофізики і електричних процесів в конвективних хмарах, присвячено багато теоретичних і експериментальних робіт, але через складність і недоступність для експериментів ця проблема є недостатньо вивченою. А тому досить важливим є на основі теоретичних розробок і експериментальних результатів по великій кількості параметрів, розробити адекватні чисельні моделі хмар і дослідити на їх основі особливості хмаро- і опадоутворення та електричні процеси в атмосфері, що впливають на коагуляцію хмарних аерозольних частинок.

Дисертаційна робота Білого Т.А. саме і присвячена вивченню впливу електричного поля атмосфери на мікрофізичні процеси в хмарах та умови їх стратифікації, хмаро- і опадоутворення на основі побудови, розрахунку та аналізу аналітичних та чисельних моделей розподілу електричних, та гідро-термодинамічних характеристик атмосфери.

Актуальність обраної здобувачем теми зумовлено й тим, що дисертацію поєднано з планами науково-дослідних робіт Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України за такими науковими темами:

- «Комплексне геолого-геофізичне вивчення глибинної будови південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи з метою розширення мінерально-сировинної бази України (2007–2010)», № р/н 0106U000911;

- «Побудова тривимірної геолого-геофізичної моделі південної окраїни СЄП та її обрамлення з метою розширення мінерально-сировинної бази України (2011–2015)», № р/н 0111U000236;

- «Комплексне геофізичне дослідження літосфери України: від моделей до процесів формування родовищ корисних копалин (2016–2020)», № р/к 0116U000131.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і наукова новизна.

Обґрунтованість та достовірність сформульованих у дисертації положень, висновків і рекомендацій забезпечується, коректним застосуванням широкого спектру методів досліджень та застосуванням математичних рішень, підтвердженням теоретичних положень результатами експериментальних розрахунків, які базуються на натурних експериментах.

Достатня кореляція отриманих розрахунків із результатами, які одержані за допомогою незалежних експериментальних спостережень, підтверджує їх достовірність.

Наукова новизна дисертаційної роботи Білого Т.А., що в сукупності вирішують важливе наукове завдання, полягає у отриманні ним нових теоретичних і практичних результатів, що в сукупності вирішують поставлені завдання.

При цьому автором, вперше:

- розроблено одномірну аналітичну модель середнього самоузгодженого електричного поля атмосфери, яка описує стратифікацію електрон-іонної підсистеми та хмарного аерозолі в електричному та гравітаційному полях. Дана модель залежить від граничних умов на поверхні Землі – збурення приземного локального електростатичного поля від геофізичних джерел;

- отримано аналітичний аналог рівняння Пуассона для самоузгодженого поля хмарного аерозолі. Для гідродинамічних систем це пояснює самоузгоджене (бездифузійне) переміщення хмари в горизонтальному напрямку, а також глобальну стратифікацію та перенесення водяної пари;

- запропоновано механізм стабілізації електрон-іонної підсистеми та хмарного аерозолі в горизонтальних шарах шляхом введення поляризаційних добавок і динамічної діелектричної проникності;

- виявлено кореляційний зв'язок статистичних діаграм висот утворення хмарних горизонтів з рівноважними точками щільності об'ємного заряду та отримано сезонну модову стійкість щільності об'ємного заряду з висотою (20–24 повних коливань електричного поля E_z). Аналогічні кореляції отримані за даними кулепілотних спостережень для вертикальних профілів розподілу вологи;

- запропоновано модель динамічної діелектричної проникності, як функції локального потенціалу. Верифікацію констант проведено за

незалежним експериментальним набором даних: а) синхронними приземними спостереженнями позитивних і від'ємних іонів; б) вертикальними профілями літакового зондування напруженості електричного поля атмосфери;

- отримано оцінки радіаційних перерізів для молекул стандартної атмосфери та конденсованої фази (хмарні аерозолі) у геометричному наближенні, які показують, що за умови характерного радіусу крапель $\bar{r}=10^{-3}$ см іонізація від конденсованої фази має той самий порядок, що й фонові іонізація, при цьому концентрація конденсованої фази на 10^{13} менше, ніж стандартної атмосфери. Наведено кореляційну залежність середньої водності хмари і вертикального електричного поля;

- розроблено тривимірну чисельну модель фізики хмар для чисельного моделювання катастрофічних опадів, пов'язаних з електричною коагуляцією. Проведено дослідження впливу електричного поля на ефективність зіткнення заряджених крапель як одного з механізмів різкого збільшення опадів. на основі чисельного моделювання проведено дослідження поведінки хмарності напередодні сейсмічної події.

3. Значущість дослідження для науки і практики та шляхи його використання.

На основі отриманих математичних рішень, теоретичних й експериментальних даних запропоновані для практичних цілей методи виявлення аероелектричних структур вільної атмосфери та застосування електричної коагуляції у сфері активних впливів на хмари.

У теоретичному плані в роботі проведено і запропоновано: аналіз стану глобального електричного ланцюгу на основі нових фізичних результатів; механізм початкової стадії формування хмар і стратифікації у вертикальному електричному полі; стратифікація електричним полем атмосфери збуджених частин і водного аерозолі хмари.

4. Оцінка змісту, стилю та мови дисертаційної роботи, її завершеності та оформлення.

Дисертаційна робота Білого Т.А. в цілому є завершеною науковою працею. Робота складається з переліку умовних скорочень і символів, вступу, шести розділів, висновків і списку використаних джерел, що включає 346 найменувань, містить 330 сторінок машинописного тексту, 72 рисунки, 20 таблиць та 8 додатків.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми впливу електричного поля Землі на метеорологічні характеристики атмосфери, викладено мету роботи, основні завдання та методи їх вирішення, розкрито предмет та об'єкт дослідження, сформульовані основні наукові та практичні досягнення здобувача, а також подано інформацію щодо апробації одержаних результатів, публікацій, структури й обсягу роботи.

У першому розділі – зроблено огляд літератури з теми дисертації та відображено сучасний стан досліджуваної проблеми.

Розглянуті три основних механізми взаємодії між літосферою, атмосферою і іоносферою в сейсмічно активних регіонах.

Показано, що розробка чисельних моделей хмар і вивчення на їх основі різних питань хмаро- і опадоутворення, а також електричних процесів, що впливають на коагуляцію хмарних частинок, є важливими науково-прикладними проблемами.

Проведено аналіз існуючих моделей, що описують електроаеродинамічний стан атмосфери та виділені існуючі труднощі при описі електричних і мікрофізичних характеристик по вертикалі в тропосфері, які пов'язані з їх складністю та суттєвою недоступністю для експериментального дослідження.

У другому розділі – викладені основні електричні характеристики атмосфери, розглянуті зони формування зарядової нестабільності атмосфери та наведено основні масштабні співвідношення ступеня збудження для рідбергівських частинок від функції радіального квантового числа n . Атмосфера розглядається, як електроактивне середовище, в якому присутні рідбергівські та збуджені молекули.

В основу побудови одновимірної моделі середнього електричного поля нижньої атмосфери і аналізу стратифікації хмар електричним полем і були покладені уявлення про вертикальний розподіл збуджених частинок, як про одну з фундаментальних особливостей електричної будови атмосфери, які наведені в цьому розділі.

У третьому розділі – за допомогою методу статистичного аналізу розглядається морфологічна стратифікація хмарних утворень електричним полем атмосфери у період активного і спокійного Сонця.

В розділі проведено детальний статистичний аналіз відповідності повторюваності хмар по горизонтах вертикальній структурі електричного поля атмосфери на різних висотах. Статистично достовірно підтверджена істотна нерівномірність розподілу хмарності по горизонтах у різні періоди

сонячної активності, а також існування міжхмарних горизонтів, де хмари не утворювалися за увесь період спостережень.

Виявлена вузлова стабільність локальних мод щільності об'ємного заряду (повні коливання E), яка виявилася стійкою у різні періоди активності Сонця.

Проведений аналіз кореляційних залежностей вертикального розподілу пари і характеристичних точок тензора Гельмгольца T_{zz} показав, що вертикальний розподіл водяної пари (що, зазвичай, наслідок рівняння стану P, T) відбиває особливості вертикального розподілу електричного поля та висунене припущення, що істотний вклад у термодинаміку атмосфери додатково вносить процес електровипаровування води.

Зроблено висновок, що радіаційний фон жорсткої компоненти Сонця вносить істотний вклад у величину молекулярної поляризації атмосфери як середньої законсервованої енергії у глобальну стратифікацію збудженої підсистеми атмосфери і глобальну стратифікацію водяної пари.

У четвертому розділі – вирішується завдання параметризації одновимірної аналітичної моделі середнього самоузгодженого електричного поля атмосфери за експериментальними даними. У межах побудованої моделі досліджується стратифікація атмосфери електричним полем, а також механізм стабілізації ЛХА у вертикальному стратифікованому полі.

Використовується самоузгоджене рівняння Пуассона з частковою статистичною сумою Гіббса у правій частині з метою збереження електрично поляризаційного заряду й узагальненої діелектричної сприйнятливості. В роботі зазначено, що самоузгоджене поле для підсистеми аерозолі може бути отримане аналогічно до усереднювання за зарядово-масовим спектром частинок аерозолі.

Запропоновано механізм стабілізації рідбергівської підсистеми атмосфери в горизонтальних шарах шляхом введення в тензор електричного поля поляризаційних добавок і динамічної діелектричної проникності у межах нелінійної моделі середнього самоузгодженого електричного поля. Непрямим підтвердженням стратифікації атмосфери виступає лінійна кореляційна залежність між екстремумами вертикального електричного поля й екстремумами УФ-випромінювання за даними синхронних спостережень.

На основі даних синхронних спостережень електричного поля і хмарності отримана кореляційна залежність між полярною компонентою (водяна пара, хмара) і вертикальним електричним полем для нижньої тропосфери.

У п'ятому розділі – досліджується просторова дисперсність комплексної діелектричної проникності ϵ як додатковий фактор стратифікації

атмосфери електричним полем. Верифікація констант проведена за двома незалежними експериментальними наборами даних: а) синхронними приземними спостереженнями позитивних і від'ємних іонів; б) вертикальним профілям літакового зондування напруженості електричного поля атмосфери.

На цій основі автором отримана серія мультиплікативних поправок до больцманівського фактору ймовірності, де запроваджено перевизначений термічний потенціал $\varphi_0 = \varepsilon k_A T / e$.

Для опису релаксації теплових і холодних електронів атмосфери в наближенні самоузгодженого рівняння Пуассона використовується в роботі перевизначений для атмосфери параметр поляризаційного порядку $\psi = \varphi / \varphi_0$ з комплексним $\varepsilon = \varepsilon + i\eta$.

В цьому розділі для оцінки натурних величин ефективної константи екранування використовувалися дані вимірювання іонізації повітря за допомогою лічильника іонів Еберта, що дозволяє реєструвати окремо позитивну n_+ і від'ємну n_- компоненти іонізації повітря.

Відмічено, що зміна глобальної структури стратифікації електричного поля неминуче призведе до зміни горизонтів глобального міжконтинентального вологоперенесення.

У шостому розділі – на основі чисельного моделювання досліджується вплив електричного поля на ефективність зіткнення заряджених крапель як одного з механізмів різкого збільшення опадів. Отримано чисельні оцінки зміни мікрофізичних характеристик хмарності без урахування електричних сил і з їх урахуванням.

Для моделювання еволюції мезомасштабних хмарних утворень у часі і просторі використовується система інтегродиференціальних рівнянь, яка описує динаміку і термодинаміку атмосфери, а також розподіл хмарних частинок за розмірами. Система рівнянь включає в себе рівняння руху повітря, нерозривності, рівняння для температури і вологості, кінетичні рівняння для функцій розподілу хмарних частинок і частинок опадів за розмірами. Мікрофізична частина формувалася шляхом нуклеації пару на ядрах конденсації і льодоутворення з подальшим зростанням (випаровуванням) частинок.

Шляхом чисельного експерименту зроблено спробу змоделювати поведінку хмарної системи у період землетрусу при природному розвитку атмосферного процесу і при зміненому тиску в епіцентрі землетрусу. Проведена адаптація тривимірної нестационарної моделі фронтальних хмар з детальним описом термогідродинамічних і мікрофізичних процесів для оцінки електричних характеристик хмарності.

Проведено низку чисельних моделювань із дослідження взаємозв'язку мікрофізичних характеристик і електричних процесів у хмарах. Досліджено механізм зворотного зв'язку між укрупненням частинок у хмарі і зростанням об'ємного заряду.

Проведено чисельні дослідження впливу вертикального електричного поля на ефективність зіткнення заряджених крапель як одного з механізмів різкого збільшення опадів. Отримано чисельні оцінки зміни мікрофізичних характеристик хмарності без урахування електричних сил і з їх урахуванням.

Аналіз результатів чисельних експериментів показав, що зі збільшенням потужності хмари, за звичай, збільшується її електрична неоднорідність. Досліджено механізм зворотного зв'язку між укрупненням частинок у хмарі і зростанням градієнта потенціалу електричного поля.

Встановлено, що урахування електричної коагуляції призводить до перерозподілу хмарних частинок; збільшення значень водності конвективних хмар і реалістичного просторового розподілу поля опадів по закінченню деякого часу (~ 1 год.) від моменту початку розрахунку; до значних змін у просторовій структурі розподілу концентрацій хмарних кристалів; збільшення зони їх поширення в нижню частину хмари, що відповідає класичному механізму Фіндайзена–Бержерона і радіолокаційним спостереженням. Проведення подальших досліджень у цьому напрямку може знайти застосування в області активних впливів на хмари, де електричні характеристики поблизу вершин можуть виступати індикатором стану хмар, що піддані впливам.

Слід відмітити, що дисертаційна робота Білого Т.А. та її автореферат писані державною мовою з дотриманням стилю, притаманного науковим публікаціям, оформлені належним чином і проілюстровані табличними, графічними та картографічними матеріалами.

5. Дискусійні положення і зауваження та пропозиції.

Дисертаційна робота Т.А. Білого містить декілька дискусійних положень і викликає певні зауваження та пропозиції, які наведені нижче:

1. Автор дисертації зробив різко виражений аспект на питаннях впливу електричних процесів в тропосфері на процеси хмаро- і опадоутворення. Якщо розглядаються процеси (або явища) А і В та зв'язок між ними, то цей зв'язок може мати причинно-наслідковий або індикаторний характер. Причинно-наслідковий характер – процес А процес В або навпаки, а індикаторний характер – свідчить про наявність іншого третього фактора, що спричинює вплив на процеси А і В. Автором, акцентується увага на тому що електричні процеси в атмосфері управляють процесами хмаро- і

опадоутвореннями. На жаль, він цього в достатній мірі не довів. Більш вірогідною є гіпотеза, що саме процеси хмара- і опадоутворення змінюють електричні процеси в атмосфері.

Автор дисертації для аналізу функції розподілу аерозольних частинок у хмарних утвореннях використовує систему рівнянь 6.2.4 – 6.2.6. Так, наприклад, формулі 6.2.6 (позначення формули приведені в роботі):

$$\frac{\partial f}{\partial t} + (\omega - v_r) \frac{\partial f}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial r} (\dot{r} f) = k_T \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

з точки зору автора, описує трансформацію хмаро- опадоутворення в атмосфері, але швидкість падіння аерозольних частинок моделює за формулою Стокса (стоксівські частинки – авт.), але на жаль формула Стокса для супротиву падіння частинок має місце тільки тоді, коли радіус аерозольних частинок не більше 30 мкм (з похибкою до 30%).

Відомо, що в процесах опадоутворення аерозольні частинки мають розміри від 30 мкм і більше і швидкість їх падіння різко змінюється так що, стає пропорційною не r^2 , а $\dot{r}$.

А тому про які аерозолі йде мова? Справа в тому, що в хмарах при процесах опадоутворення різко виділяється процес коагуляції аерозолів розмірів більше 30 мкм. Цей процес досить добре описується рівняннями Смолуховського. Це рівняння досить цікаве і володіє певними особливостями. На жаль, в дисертації це рівняння не використовується, що навіть дуже дивно. В зв'язку з цим, відмічаю, що використання в дисертації співвідношення Стокса не зовсім адекватно описує процес, який автор зібрався промодельовати і може давати похибку (для частинок, що більше 30 мкм).

2. Щодо формальних способів розв'язку використаних для аналізу рівнянь. Автор використав метод розщеплення рівнянь на окремі підсистеми. Цей метод був розрекламований і активно використовувався акад. Марчуком. Метод розщеплення рівнянь на окремі підсистеми обґрунтований для фізичних процесів з різним масштабом часу. В іншому випадку він приводить до похибки, точніше вчений в результаті розв'язує не ту задачу, яку хотів розв'язати. Коли тільки розвивалася ЕВМ цей метод розв'язування задач мав певний зміст з чисто технічних причин, але зараз його просто необхідно забути... До речі, маса теорем щодо доведення справедливості використання цього методу, показали, що він не є достатнім.

3. В роботі правильно відмічено, що замерзання крапель води в атмосфері починається з -20°C , а повністю краплі замерзають при -40°C , але автором ніяк не вводиться фактор, який призводить до замерзання крапель в змішаній хмарі в діапазоні температур від -20 і -40°C . Цей фактор – це ядра

кристалізації, але звідки вони беруться в цих хмарках, можливо засіваються із стратосфери і/або постачаються з нижніх шарів атмосфери. В чому тоді роль атмосферної електрики в цих процесах зовсім не зрозуміло... Найбільш вірогідно, що цієї ролі зовсім не має.

4. Автор використовує поняття ентропії. Це поняття досить важливе так, як воно досить активно акцентується з розумінням рівня інформації в фізичній підсистемі. Що відноситься до даної роботи, то автор не зовсім розуміє зміст цього терміну. Рекомендуємо, розібратися з цим поняттям. Ентропія як відомо, визначається за допомогою співвідношення Больцмана-Шенона. В це співвідношення входять дві сталі. Одна означає початок відліку ентропії; друга – дискретизацію процесу. Такого типу співвідношення для ентропії визначає нашу інформацію про фізичний стан і характер системи. Наскільки наше розуміння системи і її власного стану є адекватним – це інше питання.

Поняття ентропії необхідно використовувати з відповідним розумінням і не використовувати його в інших випадках (наприклад, Ентропія – главный фактор изменения климата)???

5. Автор в дисертації робить літературні посилання на математичні співвідношення або систему співвідношень, авторство який, не відповідає дійсності (так, наприклад, Белокобильський, 2004, Пірнач, 2008, Паламарчук, 1990). До речі, ці рівняння відомі вже давно і їх автори є відомі науковці XIX і XX віків. Такі посилання або перепосилання не допустимі!

Зауважимо, що наведені зауваження і виявлені недоліки, щодо дисертаційного дослідження Білого Т.А. не зменшують наукової і практичної цінності отриманих здобувачем результатів.

6. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації Білого Т.А. в опублікованих працях достатня з огляду на встановлені вимоги. Основні результати досліджень, що ввійшли в дисертацію, опубліковані у 20 наукових публікаціях (з них 8 – без співавторів) та 9 тезах доповідей на міжнародних конференціях. Всі наукові статті опубліковані в атестованих виданнях та відповідають вимогам ВАК України до наукових публікацій, а 4 статті надруковано у журналах, які входять до наукометричних баз Scopus, Index Copernicus, Ulrich.

7. Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації.

Зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

8. Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» та нормативних актів МОН України.

Докторська дисертація Т.А. Білого відповідає вимогам п.п. 9,11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами, які внесені згідно з Постановами КМУ №656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.) щодо дисертаційних робіт, які подаються на здобуття наукового ступеня доктора наук, інших нормативних актів МОН України та паспорту спеціальності 04.00.22 – геофізика (103 – науки про Землю).

9. Загальний висновок.

Дисертацію Білого Тараса Анатолійовича «Вплив електричного поля землі на електричні і мікрофізичні процеси в атмосфері», присвячено актуальній темі, основні наукові положення і висновки є обґрунтованими та достовірними й достатньо висвітлені у наукових публікаціях, а отримані результати сукупно свідчать про вирішення конкретного наукового завдання – створенні моделі середнього електростатичного поля для умов «хорошої погоди», яка б описувала стратифікацію хмарності, а також у вдосконаленні чисельної тривимірної моделі фізики хмар для вирішення завдань впливу електричного поля на мікрофізичні процеси в конвективних хмарах.

Дисертація є завершеним самостійним науковим дослідженням, містить наукову новизну, має практичне значення, а її автор – Білий Тарас Анатолійович - заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика (103 – науки про Землю).

Офіційний опонент:

Доктор фізико-математичних наук, професор
Головний науковий співробітник відділу фізики атмосфери
УкрГМІ ДСНС України та НАН України **В.М. Волощук**



Підпис Волощука В.М. засвідчую:

Вчений секретар

УкрГМІ ДСНС України та НАН України **Мостова**

