

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2024.04.078>

УДК 535.4, 535.5, 535.520, 551.510.42

О. С. Овсак

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ
вул. Акад. Заболотного 27, Київ, Україна, 03143
ovsak@mao.kiev.ua

Метод контролю достовірності даних наземних поляриметричних досліджень атмосфери

Розглянуто процеси формування просторових розподілів поляризаційних параметрів земної атмосфери. Описано методику визначення поляризаційних параметрів на небесній півсфері за даними наземних поляриметричних вимірювань. Приведено просторову схему взаємного розміщення основних елементів процесу розсіювання світла. Дано відповідні формули обчислення значень кута і ступеня лінійної поляризації неба ($AoLP$ і $DoLP$ відповідно), які формуються при розсіюванні світла чисто газовою складовою атмосфери. Розглянуто вплив зміни характеристик аерозольної складової земної атмосфери на поляризаційні параметри неба. Як ключову ідею методу контролю достовірності даних наземних поляриметричних вимірювань запропоновано використати стійкість просторового розподілу параметра $AoLP$ на небесній півсфері. Описано алгоритм виконання такого контролю та надано рекомендації для його практичного застосування. Вказано можливість використання параметра $DoLP$ для якісної оцінки даних наземних поляриметричних вимірювань. Представлено приклади візуалізації картин просторового розподілу модельних поляризаційних параметрів над заданою позицією та для визначених дати й часу спостереження.

Ключові слова: земна атмосфера, розсіювання світла, параметри лінійної поляризації неба, поляриметр, достовірність вимірювань.

ВСТУП

Значні кліматичні зміни та погіршення екологічної обстановки у промислово розвинутих регіонах через вплив промислових і транспор-

тних викидів роблять необхідними дослідження земної атмосфери. Значні зусилля сьогодні направлено на вивчення аерозольної складової як найбільш непередбачуваної та постійно змінної складової нашої атмосфери. Таке цілеспрямоване вивчення атмосферних аерозолів виявило їхній суттєвий вплив на формування хмарного покриву, виникнення численних атмосферних явищ, на зміни локальної температури земної поверхні тощо.

При проходженні через земну атмосферу сонячне світло поглинається та розсіюється її газовою й аерозольною складовими. У видимому діапазоні довжин світлових хвиль поглинання атмосферними газами мінімальне, тому основними чинниками ослаблення світлового потоку є молекулярне (релеївське) розсіювання, а також розсіювання й поглинання (здебільшого незначне) аерозольними частинками. В результаті такої взаємодії світла з атмосферою формуються характерні просторові конфігурації кольору, освітленості та поляризаційних параметрів неба. Сучасні методи дистанційного дослідження вказаних конфігурацій дають можливість відновити ряд параметрів земної атмосфери, зокрема й параметри її аерозольної складової. Дистанційні вимірювання земної атмосфери провадяться наземними засобами, з літаків та з орбітальних штучних супутників. Для технічної реалізації таких вимірювань розробляється спеціальне фотометричне й поляриметричне обладнання.

Більшість публікацій про вимірювальні поляриметричні комплекси присвячена масштабним проектам глобального аналізу земної атмосфери, в яких пристрої розміщуються на супутникових платформах і літальних апаратах [4]. Значно менше інформації про обладнання, призначене для наземних поляриметричних вимірювань неба [1, 3, 9, 12]. Водночас саме такі вимірювання та відповідні методики відновлення на їхній основі характеристик тропосферних аерозолів є вкрай необхідними муніципальним комісіям з питань екологічної політики та службам з надзвичайних ситуацій для моніторингу забруднення повітря над транспортними магістралями, промисловими районами міст та іншими ділянками земної поверхні, які зазнають техногенного впливу, катастроф чи дії стихійних лих. Перевагами поляриметричних комплексів наземного використання повинні бути їхня компактність та зручність використання, оперативність визначення характеристик локальних ділянок атмосфери.

Для коректного відновлення параметрів атмосфери надважливим є питання достовірності даних поляриметричних вимірювань неба, на яких, власне, воно й базується. При розробці та виготовленні поляриметрів виробники намагаються максимально врахувати паразитні добавки, що їх вносять конструктивні елементи поляриметра до вихідного сигналу. Як правило, такі добавки намагаються компенсувати технічними рішеннями та накладенням обмежень на умови експлуатації обладнання. Готові пристрої проходять тестові калібрування, а кінцеві користувачі зобов'язані проводити їхнє періодичне калібрування, а за

необхідності — й спонтанні тестові лабораторні вимірювання об'єктів з добре відомими значеннями поляризаційних параметрів. За умови виконання перерахованих вище заходів поляриметри вважаються відкаліброваними і підготовленими до проведення вимірювань. Однак при виконанні поляриметричних вимірювань на наземній позиції їхні результати можуть виявитися значно спотвореними через помилки у виборі місця чи умов спостереження, а також через неврахування впливу сторонніх об'єктів і процесів. Безпосередньо визначити достовірність масиву даних поляриметричних вимірювань не є можливим. Однак це можна зробити опосередковано, по результатах обробки поляриметричних даних за спеціальними алгоритмами відновлення характеристик атмосфери. Відновлені параметри атмосфери порівнюються з результатами визначення цих же параметрів, але отриманими з використанням інших засобів дослідження атмосфери та методів і алгоритмів відновлення її параметрів. Зокрема, на сьогодні науково підтвердженими є результати багаторічного відновлення характеристик аерозольної складової атмосфери над експериментальними позиціями міжнародної мережі AERONET*. Тому, наприклад, в роботі [12], при тестуванні наземної моделі спектрального поляриметра SPEX на позиції Sabauw (51.971°N, 4.927°E) мережі AERONET, параметри атмосфери, відновлені за даними вимірювань поляриметра SPEX, порівнювалися з параметрами, визначеними за даними фотометричних вимірювань на цій же позиції за процедурою обробки вказаної мережі. Є очевидним, що такі складні багатоступеневі перевірки потребують точної синхронізації місця і часу отримання вхідних даних та використання уніфікованих вихідних форматів для порівняння результатів відновлення параметрів атмосфери за різними методиками.

У даній роботі запропоновано метод контролю достовірності наземних поляриметричних вимірювань неба, який не потребує використання інших даних вимірювань та методів відновлення характеристик атмосфери. В основу методу покладено властивості просторового розподілу поляризаційних параметрів атмосфери, які формуються розсіянням світла на газовій складовій земної атмосфери.

ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ПАРАМЕТРИ АТМОСФЕРИ, МЕТОДИКА ЇХНЬОГО ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРИ

За ясного безхмарного неба (blue sky) основний вклад у формування його поляризаційних характеристик у видимому діапазоні довжин хвиль робить однократне розсіювання світла на флуктуаціях густини газового середовища та на частинках аерозолів [13]. Тому при аналізі характеристик атмосфери у вище вказаних умовах здебільшого вико-

* <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>

ристовуються параметри лінійної поляризації (LP) розсіяного світла: ступінь лінійної поляризації (DoLP) та кут лінійної поляризації (AoLP). Зі зменшенням довжини хвилі частка інтенсивності світлового потоку, яка формується багатократним розсіюванням, значно зростає, що враховується при аналізі даних вимірювань неба у короткохвильовій частині спектру.

Значення поляризаційних параметрів розсіяного атмосферою світла, отримані в широких спектральних інтервалах та при різних кутах розсіяння, використовуються для відновлення ймовірних параметрів аерозольної складової та загальних характеристик атмосфери [4]. Для експериментального визначення таких параметрів застосовуються спеціальні пристрої — поляриметри, які фіксують відмінності в інтенсивності падаючого на них світлового потоку при різних напрямках коливань електричного вектора світлової хвилі. Для цього поляриметр реєструє значення інтенсивності світлового потоку, який потрапляє на світлочутливі елементи пристрою при кроковій зміні орієнтації його прохідних елементів — поляризаторів під кутами 0° , 45° , 90° і 135° до площини розсіяння світла. Виміряні на окремих ділянках неба значення інтенсивності світла $I(0^\circ)$, $I(90^\circ)$, $I(45^\circ)$ та $I(135^\circ)$ перераховуються у параметри Стокса I , Q , U :

$$\begin{aligned} I &= I(0^\circ) + I(90^\circ) \\ Q &= I(0^\circ) - I(90^\circ) \\ U &= I(45^\circ) - I(135^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

За значеннями I , Q , U визначаються поляризаційні параметри DoLP (D) та AoLP (α):

$$D = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I}, \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \frac{U}{Q}. \quad (3)$$

З отриманих таким чином просторових розподілів поляризаційних параметрів за спеціальними методиками й алгоритмами можна визначити ймовірні характеристики атмосфери, за яких такі розподіли могли сформуватися на момент виконання вимірювань. У більшості використовуваних методик відновлення характеристик атмосфери за даними дистанційних поляриметричних вимірювань [4] використовується ступінь лінійної поляризації розсіяного світла, тобто параметр DoLP. Параметр AoLP для задачі відновлення не розглядається. Причиною цього є висока чутливість параметра DoLP до змін характеристик атмосфери, а також адитивність його формування газовою та аерозольною складовими. Останнє дозволяє виконувати модельні обчислення незалежною підстановкою параметрів для окремих складових штучного газозольного середовища, яким при розрахунках замінюється реальна атмосфера. Такому модельному середовищу признача-

ються визначена просторова структура та змінні характеристики аерозольної складової, які послідовно підбираються за спеціальними алгоритмами [3, 10, 12]. При досягненні прийняттого рівня узгодженості розрахованого просторового розподілу значень параметра DoLP у модельному середовищі зі значеннями цього ж параметра, визначеними за даними поляриметричних вимірювань, загальні характеристики модельного середовища та параметри його аерозольної складової вважаються підібраними для атмосфери, що досліджується.

ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБА У МОДЕЛІ ОДНОКРАТНОГО РОЗСІЮВАННЯ РЕЛЕЯ

Просторовий розподіл поляризаційних параметрів при розсіюванні на атмосферних газах. За звичайних погодних умов вертикальна структура та хімічний склад газової складової земної атмосфери є стабільними у часі. Тому просторовий розподіл на небесній півсфері параметрів DoLP та AoLP, спричинений тільки молекулярним розсіюванням сонячного світла, можна точно розрахувати у моделі однократного розсіювання Релея [13]. Для цього достатньо лише даних про взаємне розташування Сонця, досліджуваної ділянки неба та спостережної позиції на земній поверхні. На рис. 1 показано приклад схеми такого розташування [6]. Використані тут позначення: S — положення Сонця; SM та ASM — сонячний та протисонячний меридіани; P — положення досліджуваної точки на небесній півсфері; Z — положення зеніту; O — положення позиції спостереження; $OXYZ$ — прямокутна географічна система координат (вісь OY напрямлена на північ, вісь OX — на схід, вісь OZ — вертикально вгору); s_s, p_s та s_p, p_p — азиму-

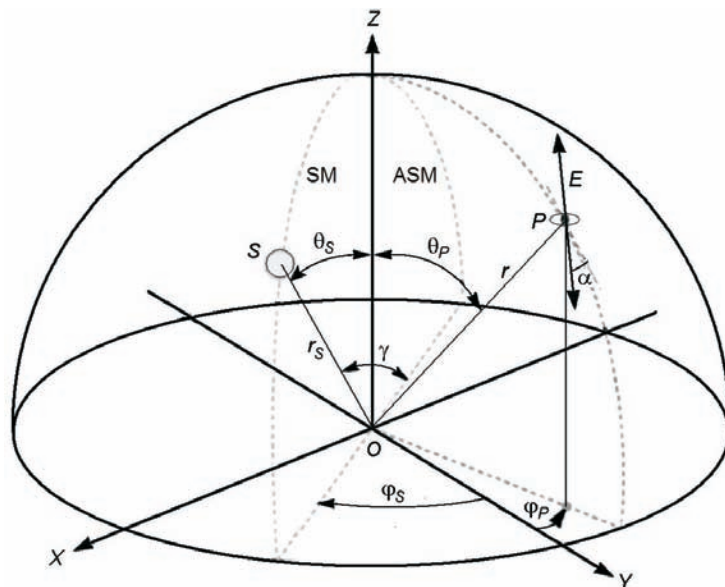


Рис. 1. Схема процесу розсіювання світла на небесній півсфері [6]

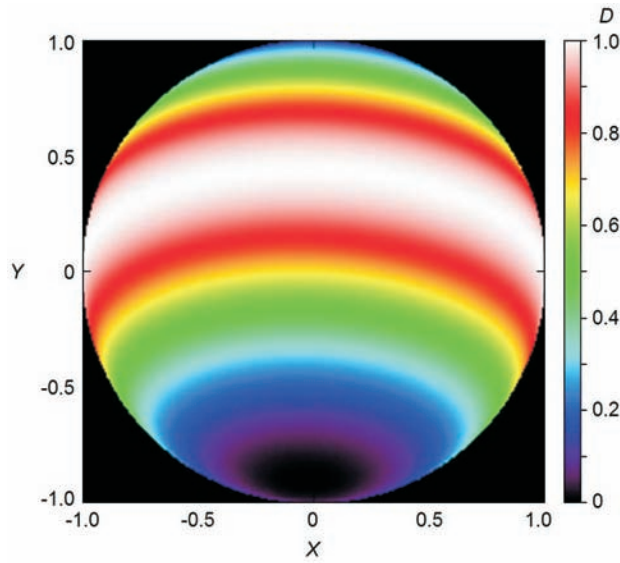


Рис. 2. Розподіл параметра DoLP по небесній півсфері (однократне розсіювання Релея) над позицією ГАО НАНУ (50°21 57.0 N 30°30 02.3 E) станом на 11:50 31.10.2022 р.

тальні кути й кутові відстані від вертикала OZ для точок S і P відповідно; E — вектор напруженості електричного поля розсіяного світла; — кут лінійної поляризації розсіяного світла (кут між площиною відліку POZ й напрямком коливань вектора E); — кут між відрізками OS і OP , які лежать у площині розсіяння світла. Відповідно до схеми рис. 1 можна обчислити значення параметрів DoLP (D) та AoLP (α) [6]:

$$D = \frac{1}{1} \frac{[\cos \theta_p \cos \theta_s \sin \theta_p \sin \theta_s \cos(\theta_p - \theta_s)]^2}{[\cos \theta_p \cos \theta_s \sin \theta_p \sin \theta_s \cos(\theta_p + \theta_s)]^2} D_{\max}, \quad (4)$$

де D_{\max} — максимальне значення параметра DoLP,

$$\alpha = \frac{\sin \theta_p \cos \theta_s \cos \theta_p \sin \theta_s \cos(\theta_p - \theta_s)}{\sin(\theta_p - \theta_s) \sin \theta_s}. \quad (5)$$

Таким чином, використовуючи довідникові таблиці чи, наприклад, онлайн-калькулятор* азимутального й висотного положень Сонця та формул (4) і (5), для будь-якої позиції на поверхні Землі та для конкретної дати й часу доби у моделі однократного розсіювання Релея можна розрахувати просторові розподіли поляризаційних параметрів DoLP та AoLP на небесній півсфері, сформовані розсіюванням світла газовою складовою атмосфери. Підкреслимо, що ці розподіли жорстко прив'язані до положення Сонця відносно місця спостереження і мають характерний вигляд у кожного з параметрів. На рис. 2 показано розрахований автором в моделі однократного розсіювання Релея роз-

* <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/>

поділ на небесній півсфері параметра DoLP над позицією ГАО НАН України станом на 11:50 для дати 31 жовтня 2022 року. Точка (0.0, 0.0) відповідає положенню zenіту. Візуалізацію виконано з використанням графічного пакету Graphics Layout Engine*.

Вплив аерозольної складової атмосфери на поляризаційні параметри неба. Вивченню впливу зміни аерозольної оптичної товщини та хмарності атмосфери на просторовий розподіл параметрів DoLP та AoLP на небесній півсфері присвячено низку досліджень, які детально розглянуті в оглядовій роботі [6]. На рис. 3 показано просторові розподіли поляризаційних параметрів DoLP та AoP на небесній півсфері, отримані в роботі [14] за даними ширококутних поляриметричних вимірювань на п'яти довжинах хвиль у діапазоні $\lambda = 476...750$ нм, при зміні величини аерозольної оптичної товщини та рівня хмарності неба. (Слід звернути увагу, на цьому рисунку у роботі [14] помилково вказано градації параметра DoLP, правильно має бути: 0 % — чорний, 100 % — білий). Вимірювання підтверджують значний вплив атмосферної аерозольної складової на просторовий розподіл параметра DoLP на небесній півсфері. Водночас небесна конфігурація параметра AoP є значно стійкішою як до зміни аерозольної оптичної товщини, так і до зростання хмарності неба від легкого до середнього ступеня. Тільки при суцільній хмарності неба картина просторового розподілу параметра AoP повністю розмивається.

Використання живими істотами поляризації розсіяного небом світла. Доведено [6], що різні групи біологічних організмів (комахи, риби, птахи, молюски та ін.) сприймають поляризацію розсіяного небом світла для орієнтування при пошуку їжі, поверненні до місця проживання та сезонних міграціях. Численні приклади використання живими істотами картини розподілу по небу параметра AoLP та її стійкість при зміні параметрів аерозольної складової атмосфери стимулюють зростання кількості розробок технічних засобів для зчитування небесної конфігурації параметра AoLP і створення алгоритмів обробки цих даних задля автоматичного позиціонування та вибору напрямку руху автономних транспортних засобів [2, 5, 7, 8, 11, 14].

Метод контролю достовірності даних наземних поляриметричних вимірювань. Як сказано вище, конфігурація просторового розподілу параметра AoLP на небесній півсфері над позицією спостереження у будь-який момент часу світлового дня жорстко зв'язана з положенням Сонця на небосхилі та є відносно стійкою до змін характеристик аерозольної складової атмосфери. Отже, при проведенні наземних поляриметричних вимірювань в умовах ясного безхмарного неба перерахунок отриманих даних вимірювань по формулах (1) і (3) повинен дати таку конфігурацію просторового розподілу значень параметра AoLP (m_{eas}) на дослідженій ділянці неба, яка збігається з просторовим розподілом параметра AoLP (m_{od}), розрахованим для цієї ж ділянки у рамках моделі однократного розсіювання Релея.

* <https://glx.sourceforge.io/>

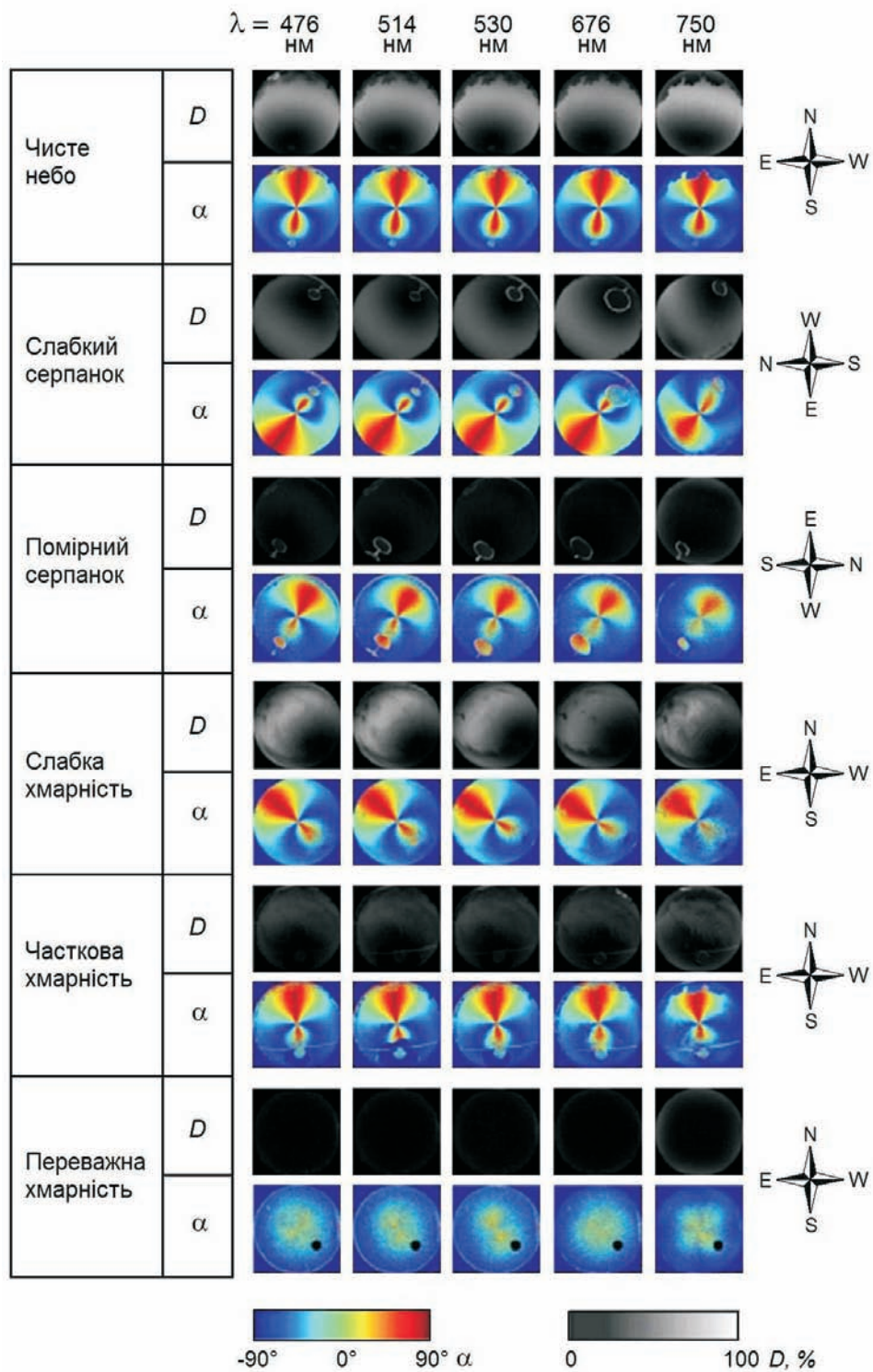


Рис. 3. Розподіл параметрів DoLP та AoP на небесній півсфері при зміні аерозольної оптичної товщини та рівня хмарності атмосфери [14]

Підкреслимо, що модельні розрахунки повинні виконуватися згідно з геометричними параметрами схеми взаємного розташування Сонця, досліджуваної ділянки неба та позиції спостереження, які точно відповідають часу та умовам проведення вимірювань.

Таким чином, в умовах ясного безхмарного неба можна скористатися алгоритмом контролю достовірності даних наземних поляриметричних вимірювань, приведеним нижче.

1. За даними поляриметричних вимірювань неба на позиції спостереження обчислюється масив «виміряних» значень параметра AoLP (meas).

2. З урахуванням географічних координат позиції спостереження та часу проведення вимірювань обчислюється масив «модельних» значень параметра AoLP (mod). Для зручності аналізу поле зору обчисленої модельної конфігурації параметра AoLP (mod) бажано сумістити з полем зору вимірювань.

3. Порівнюються «виміряна» та «модельна» конфігурації просторового розподілу параметра AoLP на дослідженій ділянці неба. Рівень збігу конфігурацій вкаже на достовірність даних вимірювань. Для наближеної оцінки достовірності вимірювань може бути достатньо візуального порівняння вказаних конфігурацій параметрів. Для точного контролю збігу просторових конфігурацій параметрів AoLP (meas) та AoLP (mod) необхідно виконати порівняння їхніх значень у кожній точці вимірювань чисельними методами, наприклад методом RMSE*, або ж скористатися методами порівняння зображень.

Якісно оцінити «правдоподібність» результатів поляриметричних вимірювань неба можна й за «виміряними» значеннями параметра DoLP (meas). Для цього за даними поляриметричних вимірювань по формулах (1) і (2) розраховується масив таких значень. Отриману просторову конфігурацію параметра DoLP (meas) порівнюють з конфігурацією «модельного» розподілу DoLP (mod), розрахованого по формулі (4). Очевидно, що просторовий розподіл параметра DoLP (meas) є складною суперпозицією значень ступеня лінійної поляризації, сформованих молекулярним розсіюванням та розсіюванням на аерозольних складових атмосфері. Таким чином, конфігурації просторового розподілу параметрів DoLP (meas) та DoLP (mod) завжди відрізняються незалежно від конкретних значень параметрів аерозольної складової атмосфері. А отже, порівнювати такі конфігурації можна лише якісно, за загальним виглядом.

Для тестового порівняння з вимірюваннями автором обчислено просторові конфігурації параметрів DoLP та AoLP у рамках моделі однократного розсіювання Релея для ділянки неба над ГАО НАН України (Київ, Голосіївський ліс, 50°21 57.0 N 30°30 02.3 E). Графічний вигляд результатів таких обчислень для дати 31 жовтня 2022 року, станом на 11:50 та 16:30, показаний на рис. 4. Точка з координатами (0.0; 0.0) відповідає зеніту над позицією ГАО. Поле зору зображень при об-

* <https://statisticsbyjim.com/regression/root-mean-square-error-rmse/>

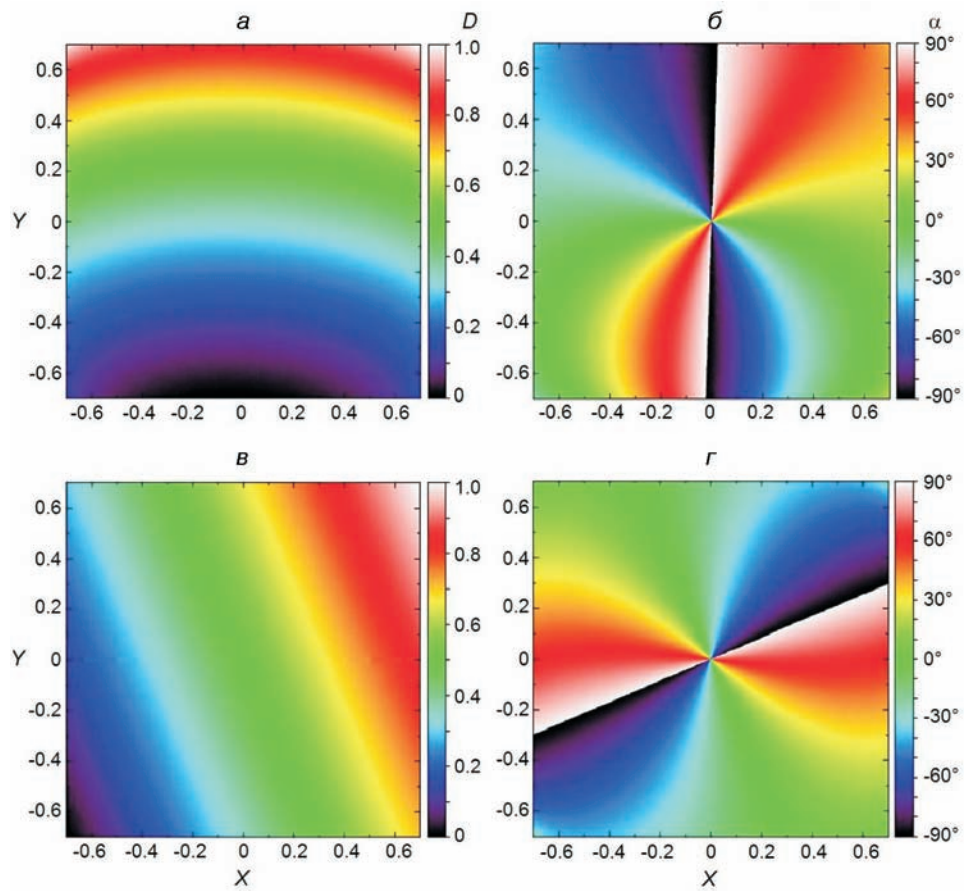


Рис. 4. Просторові конфігурації параметрів DoLP та AoLP поляризації неба над позицією ГАО НАНУ (однократне релєвське розсіювання): а, б — станом на 11:50, в, г — станом на 16:30 31.10.2022 р.

числення становило 126×126 , та за потреби може бути змінено відповідно до конструктивного поля зору поляриметра.

ВИСНОВОК

В роботі запропоновано метод контролю даних поляриметричних вимірювань неба, що дозволяє оцінити достовірність таких вимірювань, без необхідності синхронізації та прив'язки позиції спостереження до вимірювальних комплексів інших типів. Метод може використовуватись для контролю даних вимірювань у видимому діапазоні світла, отриманих наземними поляриметрами, як з максимально широким («риб'яче око»), так і з конструктивно обмеженим полем зору, включно з вузьконапрямленими вимірювальними пристроями.

REFERENCES

1. Avramchuk V. V. (1965). Multicolor polarimetry of the light of the twilight and daytime sky at the zenith. *Vopr. Astrofiz.* (Naukova Dumka), 112—120 [in Russian].
2. Cheng Z., Mei T., Liang H. (2013). Positioning algorithm based on skylight polarization navigation. *IFAC Proc. Vol.*, 46 (10). 97—101. DOI:10.3182/20130626-3-AU-2035.00040.
3. Di Noia A., Hasekamp O. P., van Harten G., Rietjens J. H. H., Smit J. M., Snik F., Henzing J. S., de Boer J., Keller C. U., Volten H. (2015). Use of neural networks in ground-based aerosol retrievals from multi-angle spectropolarimetric observations. *Atmos. Meas. Tech.* **8**. 281—299. DOI:10.5194/amt-8-281-2015.
4. Dubovik O., Li Z., Mishchenko M., Tanré D., Karol Y., Bojkov B., Cairns B., Diner D., Espinosa W., Goloub P., Gu X., Hasekamp O., Hong J., Hou W., Knobelspiesse K., Landgraf J., Li L., Litvinov P., Liu Y., Lopatin A., Marbach T., Maring H., Martins V., Meijer Y., Milinevsky G., Mukai S., Parol F., Qiao Y., Remer L., Rietjens J., Sano I., Stammes P., Stammes S., Sun X., Tabary P., Travis L., Waquet F., Xu F., Yan C., Yin D. (2019). Polarimetric remote sensing of atmospheric aerosols: Instruments, methodologies, results, and perspectives. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* **224**. 474—511. DOI:10.1016/j.jqsrt.2018.11.024.
5. Dupeyroux J., Viollet S., Serres J. R. (2019). Polarized skylight-based heading measurements: a bio-inspired approach. *J. R. Soc. Interface*, 16(150), 20180878. DOI:10.1098/rsif.2018.0878.
6. Kong F., Guo Y., Zang J., Fan X., Guo X. (2023). Review on bio-inspired polarized skylight navigation. *Chinese J. Aeronautics*, 36(9), 14—37. DOI:10.1016/j.cja.2023.05.024.
7. Li Q., Dong L., Hu Y., Hao Q., Lv J., Cao J., Cheng Y. (2023). Skylight polarization pattern simulator based on a virtual-real-fusion framework for urban bionic polarization navigation. *Sensors*, 23(15), 6906. DOI:10.3390/s23156906.
8. Ma T., Hu X., Zhang L., Lian J., He X., Wang Y., Xian Z. (2015). An evaluation of skylight polarization patterns for navigation. *Sensors*, **15**(3), 5895—5913. DOI:10.3390/s150305895.
9. Martinov A. O., Katkouski L. V., Stanchick V. V., Beliaev B. I. (2018). Investigation of the atmosphere with a scanning solar spectropolarimeter. *J. Belarus. State Univ. Phys.* **3**, 20—30 [in Russian].
10. Ovsak O., Vashchenko V., Vid'machenko A., Loza Y., Patlashenko Z., Ovsak B. (2021). Recovery of parameters for the multimodal aerosol component in the atmosphere from spectral polarimetric measurements. *Ukrainian J. Phys.* **66**(6), 466—477. DOI:10.15407/ujpe66.6.466.
11. Pomozi I., Horváth G., Wehner R. (2001). How the clear-sky angle of polarization pattern continues underneath clouds: full-sky measurements and implications for animal orientation. *J. Exp. Biol.*, **204**, 2933—2942. DOI:10.1242/jeb.204.17.2933.
12. van Harten G., de Boer J., Rietjens J. H. H., Di Noia A., Snik F., Volten H., Smit J. M., Hasekamp O. P., Henzing J. S., Keller C. U. (2014). Atmospheric aerosol characterization with a ground-based SPEX spectropolarimetric instrument. *Atmos. Meas. Tech.*, **7**, 4341—4351. DOI:10.5194/amt-7-4341-2014.
13. Young A. T. (1982). Rayleigh Scattering. *Phys. Today*, 32(82). 7.
14. Zhao H., Xu W., Zhang Y., Li X., Zhang H., Xuan J., Jia B. (2018). Polarization patterns under different sky conditions and a navigation method based on the symmetry of the AOP map of skylight. *Opt. Express*, 26(22), 28589—28603. DOI:10.1364/OE.26.028589.

O. S. Ovsak

Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine,
Akademika Zabolotnoho Str. 27, Kyiv, 03143 Ukraine

A METHOD FOR CONTROLLING THE RELIABILITY
OF GROUND-BASED POLARIMETRIC MEASUREMENTS
OF THE ATMOSPHERE

Formation processes of polarization parameters spatial distribution in the Earth's atmosphere are considered. Among the modern development of devices for atmospheric polarimetric measurements, the perspective of creating equipment for ground-based measurements is highlighted. Determining method for polarization parameters at the celestial hemisphere is described, when the ground-based polarimetric measurements data are in use. A spatial diagram of the mutual location of the main elements in the process of light scattering is presented. Calculating formulas for the angle (AoLP) and for the degree (DoLP) of the sky linear polarization are represented for light scattering by a purely gaseous component of the atmosphere. The impact on the specified sky polarization parameters due to changes in the characteristics of the atmospheric aerosol is considered. The key idea of the proposed method of controlling the reliability of ground-based polarimetric measurements is to use the stability of the spatial distribution of the AoLP parameter in the celestial hemisphere. The algorithm for such control is described and recommendations for its practical application are provided. The use of the DoLP parameter is indicated as an opportunity only for qualitative evaluation of the data of ground-based polarimetric measurements. Examples of visualization of the spatial distribution of sky polarization parameters in the model environment for a selected position, date, and time of observation are presented.

Keywords: Earth's atmosphere, light scattering, linear polarization parameters, polarimeter, reliability of measurements data.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2024

Після доопрацювання 16.04.2024

Прийнята до друку 16.04.2024