

УДК 550.388.2

РАКУРСНІ УМОВИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ СЕРЕДНЬОШИРОТНИХ ЧЕРВОНИХ ДУГ
ТА ПОЛЯРНИХ СЯЙВ НА СТАНЦІЇ АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ

В.О. Кравченко, О.М. Євтушевський

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, просп. Акад. Глушкова, 2, корпус 1, 03127
vok@univ.kiev.ua

Реферат. Середньоширотні червоні (SAR) дуги на станції Академік Вернадський можуть спостерігатися низько над горизонтом в напрямі на південний полюс при помірній геомагнітній активності та поблизу зеніту під час магнітних бур. При екстремальних магнітних збуреннях в районі станції можуть з'являтися середньоширотні полярні саява. Для типових висот SAR-дуг і саяв над поверхнею Землі розглянуто співвідношення між їх можливою кутовою висотою над горизонтом, просторовою відстанню та інтервалом геомагнітних оболонок, які охоплюються при оптичних спостереженнях цих об'єктів на станції. Розрахунки показують, що візирна лінія практично перпендикулярна до геомагнітних силових ліній в області світіння на великому інтервалі відстаней. Це дає переваги в дослідженні висотного розподілу інтенсивності авроральних емісій.

Ракурсные условия наблюдений среднеширотных красных дуг и полярных сияний на станции Академик Вернадский. В.А. Кравченко, А.М. Евтушевский

Реферат. Среднеширотные красные (SAR) дуги на станции Академик Вернадский могут наблюдаться низко над горизонтом в направлении на южный полюс при умеренной геомагнитной активности и вблизи зенита во время магнитных бурь. При экстремальных магнитных возмущениях в районе станции могут появляться среднеширотные полярные сияния. Для типичных высот SAR-дуг и сияний над поверхностью Земли рассмотрено соотношение между их возможной угловой высотой над горизонтом, пространственным удалением и интервалом геомагнитных оболочек, которые охватываются при оптических наблюдениях этих объектов на станции. Расчеты показывают, что визирная линия практически перпендикулярна геомагнитным силовым линиям в области свечения на большом интервале расстояний. Это дает преимущества при исследовании высотного распределения интенсивности авроральных эмиссий.

Viewing Geometry of the Mid-latitude Red Arcs and Aurora at the Station Vernadsky by V.O. Kravchenko, O.M. Evtushevsky

Abstract. From the station Vernadsky the mid-latitude red arcs (SAR-arcs) can be observed low above the horizon toward the South Pole in the conditions of moderate geomagnetic activity and up to zenith during the magnetic storms. The mid-latitude aurora can appear in the region of the station during extreme magnetic disturbances. For the typical heights of SAR-arcs and aurora above Earth's surface the interrelation between their possible angular heights above horizon and spatial distances and geomagnetic shells, which are covered by the optical observations of these objects from the station is considered. Calculations show that a line of sight is practically perpendicular to the geomagnetic field lines in the glow region in a wide interval of the distances. It gives an advantage in a study of the auroral emission height distribution.

Key words. SAR-arc, mid-latitude aurora, geomagnetic activity, Vernadsky.

1. Вступ

Середньоширотні червоні дуги – це світіння верхньої атмосфери з максимумом інтенсивності на висотах 300-400 км та висотою нижнього краю близько 200 км (Hoch and Lemaire, 1975; Förster et al., 1999; Alexeyev and Ievenko, 1999).

Типовий рівень поверхневої яскравості становить 200-300 релеїв і рідко досягає ~1 кілорелея, тому такі об'єкти за яскравістю відносять до субвізуальних. Назва їх "stable auroral red (SAR) arcs" (стабільні авроральні червоні дуги) пов'язана з випромінюванням атомарного кисню OI в червоній лінії 630 нм, яке загалом властиве атмосфері на цих висотах. Значної інтенсивності емісія OI 630 нм набуває у зоні полярних саяв, де вона проявляється у загальному підвищенні фонового світіння неба або у вигляді дифузних структур. Оскільки в англійській мові назві полярного саява відповідає термін "аурога" (з латині), то в назві

червоних дуг відбито певну спорідненість цих явищ. Вперше SAR-дуги було зареєстровано у Франції у 1957 році (Хорошева, 1987).

Світіння в обох випадках викликають електронні потоки, які вторгаються із магнітосфери, з енергією електронів в межах від одиниць до сотень еВ (енергія збудження емісії ОІ 630 нм становить близько 2 еВ). Проте високоширотні і середньоширотні авроральні явища пов'язані з різними областями магнітосфери, розташованими на геомагнітних оболонках $L \sim 6-8$ (30-45 тис. км над поверхнею Землі в площині геомагнітного екватора) та $L \sim 2-4$ (10-20 тис. км), відповідно¹.

Положення станції Академік Вернадський в геомагнітній системі координат (геомагнітні широта $\Phi = 50.3^\circ\text{S}$ і довгота $\Lambda = 9.1^\circ\text{E}$, магнітна оболонка $L = 2.5$) є зручним для досліджень червоних дуг (оцінки геомагнітних параметрів для станції одержано за міжнародною моделлю геомагнітного поля IGRF на сайті Міжнародного центру даних NSSDC – National Space Science Data Center – <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/models/igrf>). Але і полярні сйива, як показали екстремальні явища в період останнього максимуму сонячної активності (2001-2003 рр.), під час потужних магнітних бур часто спостерігалися на середніх геомагнітних широтах. Автори проводили візуальні та фотографічні спостереження сйив на обсерваторії поблизу Кисва, положення якої відповідає $L = 2.1$. Отже, подібні події можуть фіксуватися і в районі станції Академік Вернадський.

У випадку високоширотних полярних сйив джерелом частинок у структурі магнітосфери є область найвіддаленіших із замкнутих силових ліній геомагнітного поля або внутрішня частина плазмового шару. Висипання таких заряджених частинок в атмосферу відбувається в районі так званого овалу полярних сйив (рис. 1). У випадку SAR-дуги – це ближча до поверхні Землі область магнітосфери, де в період магнітних збурень відбувається взаємодія заряджених частинок зовнішньої плазмосфери (плазмопаузи) та кільцевого струму (червоні дуги на рис. 1). Для середньоширотних полярних сйив відповідність певній структурній частині магнітосфери менш зрозуміла, тому що при потужних глобальних збуреннях відбувається стиснення і деформація внутрішніх областей магнітосфери з перекриттям тих ділянок, які в спокійних умовах відокремлені. Тому актуальними є навіть візуальні спостереження середньоширотних сйив у південній півкулі з якомога повнішим описом явища.

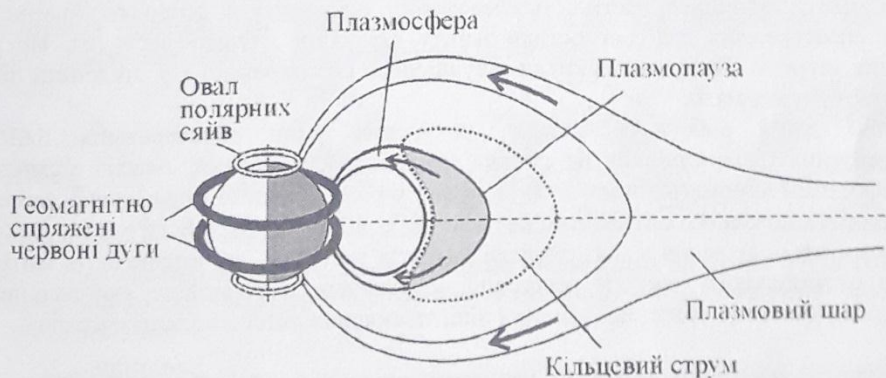


Рис. 1. Схема формування середньоширотних червоних дуг та овалу полярних сйив. Показано основні структурні частини магнітосфери з нічного боку Землі.

Є відмінність також у черговості виникнення полярних сйив та червоних дуг при послідовній зміні фаз суббури. Дискретні форми полярних сйив виникають переважно на вибуховій фазі, а червоні дуги – на фазі відновлення. Загалом статистика свідчить, що SAR-дуги досить часто спостерігаються при середньому рівні геомагнітної активності (найчастіше

¹ Параметр L характеризує екваторіальний радіус силової лінії, яка з'єднує дві геомагнітно спряжені точки земної поверхні (або іоносфери).

весною та восени, в меншій кількості – в інші сезони), а середньозиротні полярні сйива – при найбільших глобальних магнітних бурях, які виникають після потужних сонячних спалахів. Найімовірніший стан магнітосфери характеризується значенням $Dst < -60$ нТ, а плазмопауза з імовірністю 0.9 розташована на оболонці $L \sim 4$ (Хорошева, 1987). Червоні дуги пов'язані з областю плазмопаузи і згідно з даними спостережень найчастіше реєструються на $L \sim 3$ (Hoch and Lemaire, 1975; Ievenko and Alexeyev, 2004) та $L \sim 2.5-4$ (Baumgardner et al., 2001).

Просторову ширину дуг (протяжність у напрямі північ-південь) оцінюють у 200-400 км, а протяжність у напрямі схід-захід – тисячі кілометрів, аж до повного охоплення середньозиротної зони в обох півкулях (рис. 1), див., наприклад, (Khalipov et al., 2004). Умови середньозиротної зони в обох півкулях (рис. 1), див., наприклад, (Khalipov et al., 2004). Умови середньозиротної зони в обох півкулях (рис. 1), див., наприклад, (Khalipov et al., 2004). Умови середньозиротної зони в обох півкулях (рис. 1), див., наприклад, (Khalipov et al., 2004). Умови середньозиротної зони в обох півкулях (рис. 1), див., наприклад, (Khalipov et al., 2004). Умови середньозиротної зони в обох півкулях (рис. 1), див., наприклад, (Khalipov et al., 2004).

Оптичні явища у верхній атмосфері, які контролюються геомагнітним полем, несиметричні відносно географічного екватора. Геомагнітний полюс зміщений відносно географічного на $\sim 8^\circ$ у північній півкулі і майже на 16° у південній, тому видимість авроральних явищ значно відрізняється в одному і тому ж поясі географічних широт, в залежності від довготи. В останні роки південний магнітний полюс реєструється на широті $\sim 65^\circ S$ і довготі $\sim 138^\circ E$ (дані з www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag), тобто майже на широті станції Академік Вернадський, але по довготі віддалений на $\sim 160^\circ$. Це зумовлює, як вказано вище, середньозиротне розташування станції в магнітних координатах.

В основних густонаселених регіонах північної півкулі SAR-дугам, які можуть виникати в іоносфері на магнітних оболонках $L = 2-4$, відповідають такі пояси географічних широт: в Європі – $50^\circ-65^\circ N$, в США та Канаді – $40^\circ-55^\circ N$. В районі Антарктичного півострова це інтервал широт $60^\circ-75^\circ S$. У зв'язку з таким розподілом умов видимості та наявності пунктів спостережень, червоні дуги останні півстоліття досліджувалися переважно в північній півкулі – у США, Канаді та Росії (Сибір). Та обставина, що положення SAR-дуги є проекцією на іоносферні висоти зовнішньої частини плазмосфери – плазмопаузи, дозволяє використовувати результати спостережень для діагностики змін у структурі магнітосфери під час розвитку геомагнітних збурень. Тому залишаються актуальними спостереження у південній півкулі, де їх проводиться досить мало.

Метою даної роботи є розгляд ракурсних умов спостережень SAR-дуг та середньозиротних полярних сйив на станції Академік Вернадський. Аналіз співвідношення між географічними і геомагнітними координатами в районі станції спрямовано на те, щоб за спостереженням положенням оптичного явища на небесній сфері отримати оцінку L -параметра, тобто ототожнити положення в магнітосфері джерела частинок, які викликають світіння. Для визначення оптимального ракурсу реєстрації вертикального розподілу авроральних емісій приділено увагу взаємній орієнтації візирної лінії та силових ліній в області світіння.

2. Ракурсні умови спостережень червоних дуг на станції Академік Вернадський

Низька поверхнева яскравість червоних дуг вимагає для їх реєстрації високочутливої електрофотометричної апаратури, яка була розроблена і вже випробувана на станції Академік Вернадський. Станція знаходиться на геомагнітній оболонці $L = 2.5$, отже червоні дуги (інтервал $L = 2-4$) можуть спостерігатися переважно в південній частині неба, при помірних геомагнітних збуреннях, найімовірніше, над південним горизонтом.

На рис. 2а показано взаємне розташування географічної і геомагнітної координатних сіток, одержане з використанням моделі геомагнітного поля IGRF-2005 (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/models/igrf>). Для станції геомагнітне схилення $D = 16.8^\circ$ (горизонтальна компонента вектора магнітного поля відхилена на схід відносно напрямку на північ). Тому площина магнітного меридіана відхилена на захід відносно напрямку на південний

географічний полюс S_g (рис. 2б). Видовжена приблизно у східно-західному напрямі SAR-дуга матиме азимутальну симетрію відносно напрямку на південний магнітний полюс S_m .

Із зростанням геомагнітної активності від середнього до високого рівня дуги зміщуються на нижчі L -оболонки, а для наземного спостерігача в районі станції – від горизонту до зеніту (рис. 3). З урахуванням того, що найнижчі геомагнітні оболонки SAR-дуг $L \sim 2$, на станції Академік Вернадський можлива їх поява навіть з боку екватора від зеніту.

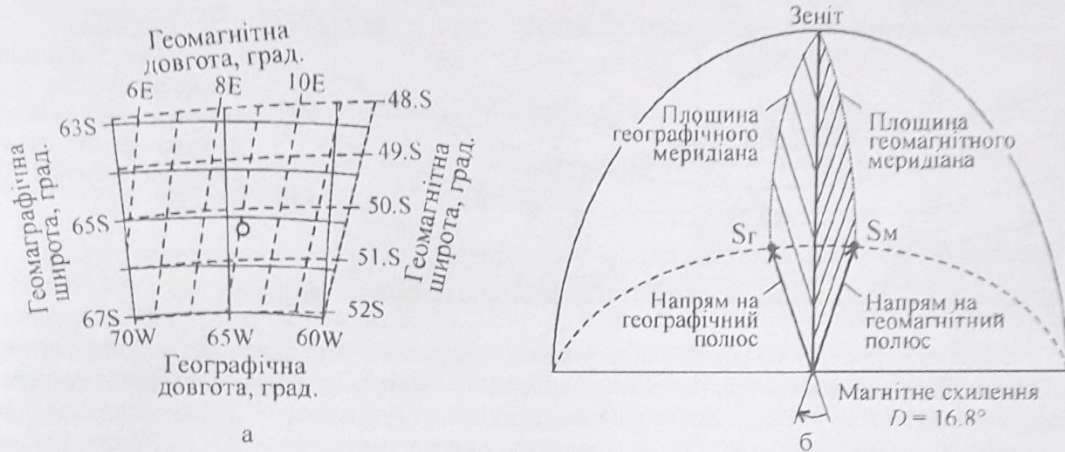


Рис. 2. а) Положення станції (кружок) в географічній (суцільні лінії) та геомагнітній (епоха 2005, пунктир) системах координат; б) площина геомагнітного меридіана на станції орієнтована під кутом близько 17 градусів відносно площини географічного меридіана і відхилена на захід відносно напрямку на південний полюс.

З рис. 3 видно, що найвище над горизонтом дуга буде розташована в напрямі на південний магнітний полюс S_m , а при зміщенні по азимуту від цього напрямку через збільшення відстані кут над горизонтом зменшуватиметься. Вертикальні перерізи фотометром даватимуть найточніший профіль світіння в площині меридіана, а на азимутах західніше або східніше фотометричні перерізи перетинатимуть видиме зображення дуги під деяким кутом (рис. 4). Проте ресстрація сигналу на різних азимутах корисна для визначення азимутальної протяжності світіння та розподілу інтенсивності вздовж дуги.

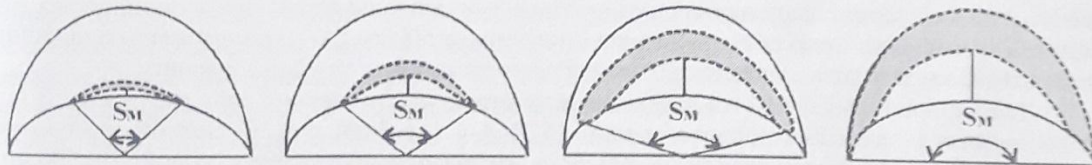


Рис. 3. При спостереженнях на станції Академік Вернадський зростання рівня геомагнітної активності супроводжується збільшенням кутової висоти дуги (пунктир) над південним горизонтом і її азимутальної протяжності.

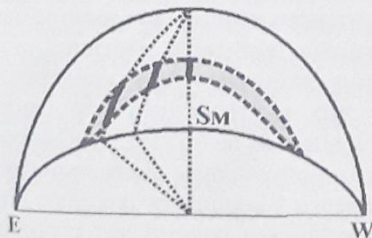


Рис. 4. Положення вертикальних фотометричних сканів на зображенні дуги (жирний пунктир) при різних азимутах сканування.

3. Середньозіроти полярні саява

У Центрі досліджень ближнього космосу в США (Space Environment Center NOAA, Boulder CO) розраховані положення екваторіальної межі появи полярних саяв в залежності від

рівня геомагнітної активності. Фрагмент карти для регіону Антарктичного півострова за даними www.sec.noaa.gov/Aurora/globeSW.html відтворено на рис. 5. Видно, що як і червоні дуги, полярні сяйва можуть реєструватися в напрямі на південь від станції Академік Вернадський при $Kp = 3-5$, прямо над станцією в області зеніту при $Kp = 7-8$ та трохи в бік екватора при найбільших геомагнітних збуреннях з $Kp = 9$.

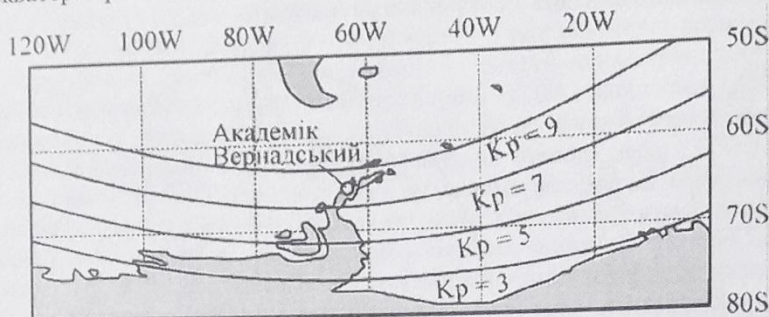


Рис. 5. Зміщення полярних сяйв до екватора над районом Антарктичного півострова при зростанні Kp -індекса.

Середньопиротні полярні сяйва значно яскравіші червоних дуг. Вони бувають помітними візуально навіть при місячному освітленні і можуть реєструватися фотокамерою на кольорову плівку 200-400 од. з експозиціями до півхвилини, у випадку слабкого світіння – до 2 хв. Звичайно, найефективнішими були б високочутливі телевізійні камери з ПЗЗ приймачами, які дозволяють реєструвати розвиток авроральних явищ і зміни спектрального складу емісій з високим часовим розділенням. Для оцінки просторового положення світіння побудовано номограму, показану на рис. 6. Варто зауважити, що в полярних сяйвах основними є дві емісії атомарного кисню – зелена 557.7 нм та червона 630 нм, причому кожна з них може бути домінуючою в окремих дискретних формах сяйва. Загалом, зелена емісія переважає у високих широтах, а червона – в середніх. Скориставшись номограмою, можна оцінити умови видимості зі станції світіння в лініях 557.7 та 630 нм в залежності від типових висот над поверхнею Землі та спостереженої кутової висоти над горизонтом.

На рис. 6 показано три різновиди авроральних форм з урахуванням того, що нижній край емісії 630 нм реєструється у більшому діапазоні висот порівняно з емісією 557.7 нм. Світіння в зеленій лінії (дуги, або промені – див. А-1 і А-2 на рис. 6) має середню висоту нижнього краю близько 100 км і вертикальну протяжність у кілька десятків кілометрів. При кутівій висоті 10° відстань до нижнього краю області світіння становитиме 500 км (А-1), а максимальна відстань близько 1100 км можлива, коли нижній край спостерігатиметься на рівні горизонту (А-2).

Для червоної емісії 630 нм в променистих структурах полярних сяйв у залежності від енергетичного складу електронного потоку (А-3, А-4 і А-5 на рис. 6) нижній край може розташовуватися на висотах від 150 до 300 км, а вертикальна протяжність досягає 500-700 км. Максимально можлива відстань, коли весь об'єкт (за вертикальною протяжністю) буде повністю над горизонтом, становитиме близько 2000 км (А-4). Дифузні червоні дуги за різними джерелами також можуть мати висоту нижнього краю 200-300 км (А-5, А-6). Можливий варіант, коли на однаковій кутівій висоті над горизонтом накладаються просторово рознесені області червоного і зеленого світіння, викликані вторгненнями популяцій частинок різного енергетичного складу і на різних L -оболонках (рис. 7). Тому номограма буде корисною для оцінки просторового розташування таких авроральних структур за кутівією висотою нижнього краю. При спостереженнях із одного пункту похибка в оцінці відстані до об'єкта буде звичайно більшою, ніж у випадку триангуляційних вимірювань. Проте з урахуванням рівня геомагнітної активності можна прийняти найбільш імовірне значення висоти і зменшити похибку. Таким чином, маючи дані про тип емісії і форму світіння, можна оцінити географічні координати місця, над яким воно розташоване, а також геомагнітні параметри області світіння. У випадку спостережень сяйв на кількох станціях Антарктичного півострова застосування методу триангуляції дозволить визначити реальні висоти світіння та його просторову структуру.

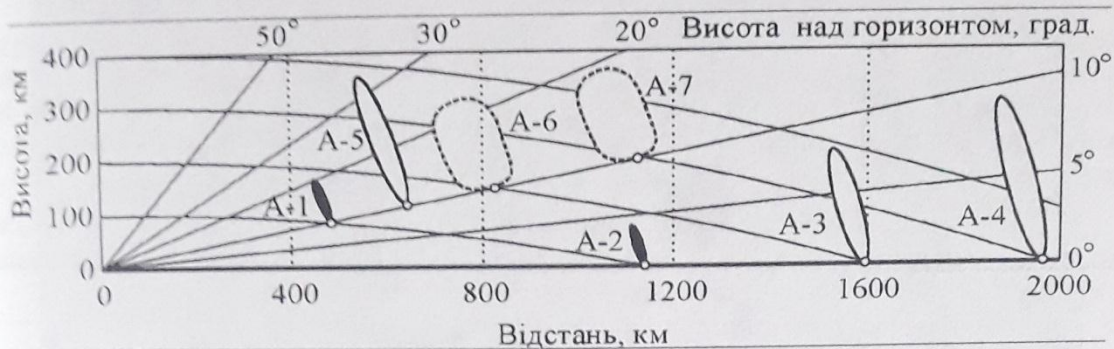


Рис. 6. Номограма для оцінки відстані до області світіння в залежності від кутової висоти над горизонтом та висоти нижнього краю над поверхнею Землі.

Кілька випадків спостережень полярних сьвів авторами поблизу Києва (візуальних та фотографічних) пов'язані з потужними магнітними бурями в період максимуму сонячної активності 2001 р. (Свтушевський, 2003) і 2003 р. (рис. 7). Світіння виникало безпосередньо над горизонтом або на висоті 20-30° в напрямі на північ в азимутальному секторі близько 90°, приблизно симетрично на схід і захід від напрямку на північний полюс (геомагнітне схилення в цьому регіоні близько 6°). Фотографії сьвів 29 жовтня 2003 р. одержано на плівку Kodak Gold 400 з експозицією 20 с. Зображення середньопиротних полярних сьвів на рис. 7 а, б свідчать, що дифузна смуга зеленого і промениста структура червоного світіння безпосередньо над горизонтом накладаються, отже, згідно з рис. 6, розташовані на максимальних відстанях – приблизно 1200 та 1600-2000 км, відповідно.

Геомагнітна широта Києва $\sim 46^\circ\text{N}$, а станції $\sim 50^\circ\text{S}$, тобто в геомагнітних координатах станція на 4° ближче до полюса і з точки зору видимості оптичних авроральних явищ її положення дещо вигідніше. Наприклад, якщо розглянути випадок помірного збурення з $K_p = 5$, то, як видно з рис. 5, сьвів може виникнути на $\sim 7^\circ$ по широті далі в бік полюса від станції. Це приблизно 800 км на поверхні Землі. Для зеленої емісії на висоті її нижнього краю (близько 100 км), як можна оцінити з рис. 6, вказана відстань відповідає кутовій висоті над горизонтом приблизно 4° .

Аналіз ракурсних умов показав також, що при наведених на номограмі кутах над горизонтом силова лінія магнітного поля майже перпендикулярна до візирної лінії (рис. 8). Цій обставині варто приділити увагу, оскільки при спостереженнях в напрямі магнітного меридіана вертикальний фотометричний переріз найбільш точно передаватиме розподіл світіння вздовж магнітних силових трубок. В таблиці наведено характеристики магнітного поля на відстані до 2000 км від станції (по поверхні Землі) в напрямі на магнітний полюс. Вказано значення кута A між напрямом силової лінії та візирною лінією для типової висоти нижнього краю червоних дуг та променів 200 км.

На рис. 8 проілюстровано випадки, подані під номерами 2, 4-7, а вертикальна протяжність відповідає характерному інтервалу висот максимальної яскравості світіння в емісії 630 нм (від 200 до 400 км). З таблиці видно, що в інтервалі відстаней 245-2000 км відхилення від перпендикулярності змінюється в межах до $\pm 10^\circ$. Промені полярного сьвіва орієнтовані вздовж магнітного поля і при наведенні фотографічної або телевізійної камери на їх нижню чи центральну частину променистої структури площина зображення матиме незначні відхилення від напрямку силових ліній в області світіння. Це забезпечує найбільш точні вимірювання вертикального розподілу світіння у променях. Червоні дуги, хоча і менш локалізовані у поперечному до магнітного поля напрямі, але так само при скануванні електрофотометром в площині геомагнітного меридіана вертикальний профіль світіння ресструватиметься з найменшими спотвореннями. Навіть при найбільших відстанях від станції ~ 2000 км, коли ще можливе виявлення аврорального світіння (випадок 7 на рис. 8) і коли нижній край його буде нижче горизонту, верхня частина відповідної магнітної силової трубки спостерігатиметься при близьких до 90° кутах A . Лише на відстанях менше 500 км, як можна оцінити з рис. 8, при

наведенні на середню чи верхню частину світіння, відхилення від перпендикулярності буде значно більшим. Максимальні відстані, на яких може реєструватися зелена емісія 557.7 нм, трохи більше 1000 км (рис. 6). Враховуючи те, що максимум її інтенсивності припадає на висоти 100-120 км, зміщення по вертикалі вздовж світіння даватиме менші похибки висотному розподілу світіння, ніж у випадку червоної емісії.

Таблиця. Зміна кута A між напрямом магнітного поля та візирною лінією для висоти над поверхнею Землі 200 км при спостереженнях у площині магнітного меридіана та відстанях області світіння до 2000 км.

	Відстань, км	Географічна широта, град. (S)	Географічна довгота, град. (W)	Висота над горизонтом, град.	Магнітне нахилення I , град.	Кут A , град.	L -параметр
1	200	65.3	64.3	90	-58.6	148.6	2.6
2	245	67.4	65.9	37.1	-60.1	100.0	2.8
3	380	68.5	66.8	25.7	-60.9	90.0	3.0
4	500	69.5	67.8	19.2	-61.7	85.4	3.1
5	1000	73.7	73.1	6.6	-64.9	80.5	3.9
6	1500	77.7	81.8	0.7	-68.0	82.2	5.0
7	2000	81.1	97.7	-3.4	-71.1	85.7	6.8

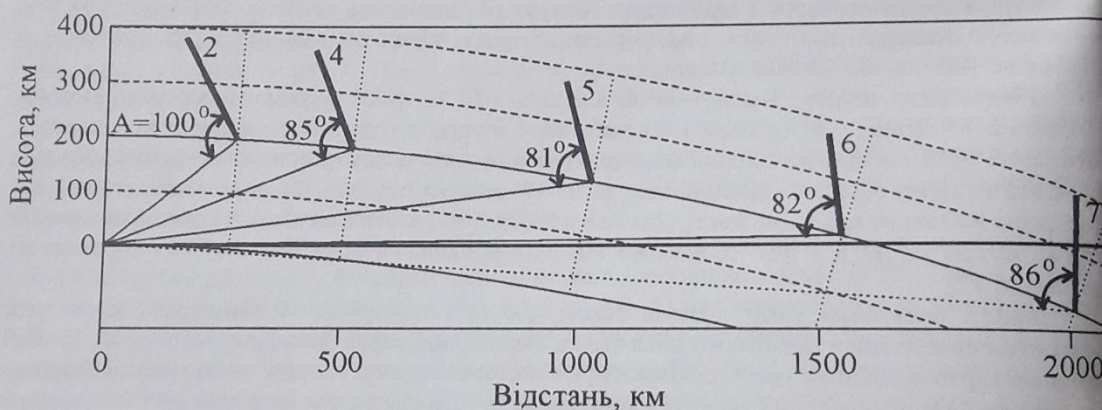


Рис. 8. Взаємна орієнтація напрямку магнітного поля та візирної лінії при наведенні оптичної опради на нижній край аврорального світіння для вказаних у таблиці випадків 2, 4-7.

Розглянуті ракурсні умови стосувалися об'єктів південної частини неба, найімовірніше виявлення авроральних форм спостерігачем на станції Академік Вернадський. Проте найбільші геомагнітні збурення, як показує рис. 5, можуть супроводжуватися оптичними явищами північніше станції (в бік екватора від зеніту). Тому можлива хоч і рідкісна, але досить цікава ситуація, яку також варто згадати, – виникнення полярного саява в області магнітного зеніту. Нахил геомагнітної силової лінії на станції близько 60° (див. таблицю), тобто при зенітному куті $\sim 30^\circ$ на північ від місцевого зеніту візирна лінія буде спрямована вздовж силової лінії. Такий ракурс дозволяє вивчати внутрішню структуру авроральних форм розподіл електронного вторгнення в поперечному перерізі силової трубки.

4. Висновки

Область середньоширотних червоних дуг, а також полярних саяв, які в середніх широтах виникають під час інтенсивних магнітних бур, є проекцією на іоносферні висоти зовнішньої частини плазмосфери – плазмопаузи. Геомагнітна широта станції Академік



а



б

Рис. 7. Зображення середньоширотних полярних сяїв 29.10.2003 р. о 21:38 (а) та 20:54 (б) за київським часом. Фотоапарат "Зенит-Е" з об'єктивом "Мир-1В" ($F = 27$ мм, 1:2.8) та кольоровою негативною плівкою Kodak Gold 400, експозиція 20 с.

Вернадський $\Phi = 50.3^\circ\text{S}$ є сприятливою для спостережень аврорального світіння на геомагнітних оболонках $L = 2\div 4$.

Розгляд ракурсних умов оптичних спостережень на станції показав, що 1) оптимальний азимут вертикального сканування SAR-дуг – 17° на захід від напрямку на південний полюс – зумовлений положенням площини геомагнітного меридіана (епоха 2005 р.); 2) в цьому напрямі в інтервалі відстаней $\sim 250\div 2000$ км відхилення від перпендикулярності між візирною лінією і геомагнітними силовими лініями в області червоних дуг змінюється в межах $\pm 10^\circ$, що створює сприятливі умови для дослідження вертикального розподілу світіння; 3) одержані співвідношення між географічними і геомагнітними координатами дозволяють за положенням на небесній сфері окремих форм дискретного світіння оцінити положення в магнітосфері (L -параметр) джерела частинок, які його спричинюють.

Навіть у північній півкулі залишається малодослідженим процес поширення полярних сьив під час екстремальних магнітних бур ($Kp = 7\div 9$) в бік екватора до середніх широт. Цей процес відбиває проникнення магнітосферних збурень в напрямі до поверхні Землі від магнітних оболонок $L = 6\div 8$ до $L = 2\div 4$. Тому вивчення змін у структурі і оптичних властивостях середньоширотного аврорального світіння є актуальним з точки зору ототожнення відповідних змін у стані магнітосфери. Результати роботи можуть бути корисними при відпрацюванні методики оптичних спостережень на станції Академік Вернадський та при використанні їх результатів для аналізу проявів іоносферно-магнітосферної взаємодії в регіоні Антарктичного півострова.

Робота виконувалася в рамках договору з Національним антарктичним науковим центром Н/2-2005.

Література

Свтушевський О.М. Спостереження полярних сьив поблизу Києва у 2001 р. // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. - 2003. - Вип. 39-40. - С. 44-46.

Хорошева О.В. Магнітосферные возмущения и связанная с ними динамика ионосферных электроструй, полярных сияний и плазмопаузы // Геомагнетизм и астрономия. - 1987. - Т. 27, № 5. - С. 804-811.

Alexeyev V.N., Iovenko I.B. Occurrence rate of SAR-arcs during the 22nd solar activity cycle // Physics of Auroral Phenomena. Proc. XXII Annual seminar. - Apatity: 1999. - P. 5-7.

Baumgardner J., Nottingham D., Wroten J., Mendillo M. Imaging magnetospheric boundaries at ionospheric heights // American Geophysical Union, Fall Meeting 2001, abstract № SM31C-11.

Förster M., Förster, J.C., Smilauer, J., et al. Simultaneous measurements from the Millstone Hill radar and the Active satellite during the SAID/SAR arc event of the March 1990 CEDAR storm // Ann. Geophys. - 1999. - Vol. 17. - P. 389-404.

Hoch R.J., Lemaire J. Stable auroral red arcs and their importance for the physics of the plasmopause region // Ann. Geophys. - 1975. - Vol. 31. - P. 105-110.

Iovenko I.B., Alexeyev V.N. Statistical relation of SAR-arc dynamics to substorms and storms // 7th International Conference on Substorms ICS 7, Levi, Finland, 21-27 March 2004. - Abstracts. - www.cosis.net/abstracts/ICS7/00092/ICS7-A-00092.pdf. - 2004.

Khalipov V.L., Gubsky V.F., Afonin V.V., et al. SAR-arc characteristics in the region of ring current dissipation and during polarization jet development // "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXVII Annual Seminar. - Apatity, Polar Geophysical Institute, Kola Science Center, RAS. - 2004. - P. 9-12.