

## Геодезическите спътници и аерономията\*

Кирил Серафимов, Венета Коцева

Централна лаборатория по висша геодезия,  
Българска академия на науките

Космическата геодезия сега е в сърцевината на висшата геодезия. Още през 1957 г. тя постави основите за бързото обновяване на тази древна наука — геодезията. Нещо повече — появи се нова наука — планетната геодезия, или т. нар. планетодезия. Планетодезията изучава фигурата, размерите и гравитационното поле на планетите от Слънчевата система и на техните естествени спътници. Ако не се засяга твърде специфичната област за геодезическото изучаване на планетите гиганти, които са предимно газови, а също и за атмосферите на малките планетни тела, планетодезията в значителна степен е *геодезия* на всички твърди планетни и малки тела в Слънчевата система, в широкия смисъл на този термин. Интензивното развитие на планетодезията е тясно свързано с прогреса в областта на космическите изследвания, които позволяват да се използват традиционните методи за изследване на Земята при изучаването на други тела от Слънчевата система. За малко повече от четвърт век междупланетните автоматични станции (МАС) летяха до най-отдалечените райони на Слънчевата система. Досега само една от планетите — Плутон, трудно достъпна поради своята отдалеченост, остава неизследвана непосредствено от борда на космически апарат. Термините „планетодезия“ и в частност „сравнителна планетодезия“ влязоха не изведнъж в широка употреба. Наред с тях и сега фигурират такива названия като „космическа геодезия“, „астрогеодезия“ и по-частните названия „селенодезия“ за Луната, „ареодезия“ за Марс, „афродезия“ или „венеродезия“ за Венера. Официално международно признание по същество термините „планетодезия“ или „планетна геодезия“ получиха в резолюциите на Международния симпозиум „Фигура и динамика на Земята, Луната и планетите“ в Прага, 15–20. IX. 1986 г. [1,2]. Създадена беше съвместна работна група при IAU (International Astronomical Union), IAG (International Association of Geodesy) и COSPAR (Committee on Space Research)

По доклада на акад. К. Серафимов за 40-годишнината на ЦЛВГ, БАН



по „Картографски координати и ротационни елементи на планетите и спътниците“. В [3,4] са разгледани някои терминологични проблеми и е установено, че всички науки за Земята и другите небесни тела сега разширяват обекта на изследванията си, без обаче да сменят наименованията си. Така например геометрията си остава със същото име, въпреки че от хилядолетия тя вече не се занимава само с измерване на земните участъци.

В настоящия проблемен обзор преди всичко ще дефинираме понятието „геодезически спътници“. Те трябва да удовлетворяват конкретни изисквания по отношение на техническите си характеристики, параметрите на техните орбити, условията за видимост, височината на летене и бордовото оборудване [5]. В [6] подробно са изложени необходимите изисквания за геодезически спътник. Тук най-общо ще ги разгледаме по следния начин:

а) Изисквания към орбитата — голяма височина; голям орбитален наклон; минимален ексцентритет на орбиталната елипса; висок перигей; двусна ориентация и др.

б) Изисквания към бордовото оборудване, формата и размерите на спътника — високостабилни генератори на честота; висококачествени радиоусилватели; специални ретранслатори; оптически отражатели; радиовисотомер; микроакселерометър; оптически фар; бордови лазерни далекомири; минимално отношение между площта на средното сечение и масата на спътника; силна отражателна способност на повърхността на спътника.

Разбира се, монтирането на всичко изброено върху един спътник е невъзможно, но за да се използва обектът за геодезически и/или за геодинамически цели, поне част от посочените изисквания трябва да бъдат изпълнени. В [7] е предложена следната класификация:

1. Спътници, чиито орбитни параметри, налични пасивни устройства (лазерни отражатели), стабилност и др. са позволили да бъдат определени от международната научна общност като обекти за изследвания;

2. Спътници, чиито апаратурен състав позволява решаването на геодезически задачи (радарни, алтимери и др.);

3. Комплексни космически обекти, включително околоземни платформи и орбитални станции, които извършват пълна или непълна комбинация от преки („*in-situ*“) измервания, съчетани с дистанционни проучвания в активен и пасивен режим и с наземни наблюдения.

Още от зората на Космическата ера проблемите за точното решаване на геодезическите задачи, включително за световната и континенталната триангулация; привързването на отдалечени острови; глобалните геодинамични изследвания; дрейфа на континентите и др., се свързват тясно с аерономията [8,9]. Спиращото въздействие върху спътниците беше в основата на първоначалните определения на неутралната температура, плътност и налягане на високата атмосфера на Земята и на времевите и пространствените изменения на тези параметри. Впоследствие получаваните сведения чрез наземни наблюдения на ИСЗ бяха основата, върху която се изградиха международните референтни модели за високата атмосфера CIRA-68, CIRA-72 и имаха голяма роля за формирането на CIRA-86. Именно тези сведения съставляват съществени части от аерономията [10]. Ще изтъкнем, че за целите на физикохимията на високата атмосфера геодезическите спътници бяха най-удобните обекти за наблюдения, тъй като само при тях е налице отлично познаване на орбитните параметри и на динамиката на собствените движения на спътника. Затова наземните оптични и фотоелектрични наблюдения на геодезическите ИСЗ бяха и си остават преобладаващата част от всички измервания за определяне на глобални-



те неутрални параметри —  $T_n$ ,  $n_n$  и  $p_n$ . От своя страна пък коригираните данни за атмосферните въздействия позволяват да се решават по-точно проблемите за геодезическите измервания с висока точност на орбитните параметри и за анализа при геодинамичните и геофизическите задачи. Така се стига до естествената интеграция на тези два типа проучвания, която продължава и сега. Ще се спрем накратко на нейните перспективи и съвременни проблеми.

Състоянието на съвременните модели за неутралните съставящи, в това число и на най-представителните модели като CIRA-86 и свързания с нея MSIS, не е удовлетворително. Все още липсва обвързване между моделите за неутралните компоненти и референтните модели за йоносферата (например IRI-79). Както е отбелязано в [11—14], отсъствието на съпоставимост между двата основни класа аерономични модели — тези за йонизираните и за неутралните съставящи, е индикатор не само за техните несъответствия, но и за недостатъчната им точност. В [11—13] е отбелязано, че главният източник за тези отклонения от адекватните сведения и грешки е недоброто познаване на абсолютните стойности и измерванията на неутралните параметри. Затова съвременната аерономия изисква преразглеждане на представите и данните за основните процеси, явления и структури главно на неутралните компоненти и особено на тяхната връзка с йонизиращите съставящи. Един от базисните проблеми, който не се отчиташе достатъчно при определянето на параметрите на високата атмосфера от спирачните ѝ въздействия върху ИСЗ, е наличието на многобройни и твърде активни възбудени частички. Още в [15] е определена тяхната голяма роля в кинетиката на йоносферната плазма, в енергийния баланс на термосферата, в преноса на слънчево-земните въздействия и в аерономичните процеси. Тук ще развием някои основни представи за влиянията на възбудените частички върху движението на геодезическите спътници и ще предложим способи за отчитане на спирачните им електромагнитни и механически въздействия.

От анализа на орбитните параметри на ИСЗ след слънчеви ерупции и в някои случаи, когато се появяват рязко повишени концентрации на възбудени частички, се установява повишаване на спирачното въздействие на високата атмосфера върху спътниците. Аерономичните процеси, които протичат при това, следват принципната схема:

1. Повишена дисоциация, осъществявана пряко или чрез предисоциативни процеси поради нарасналата интензивност на слънчевата ултравиолетова радиация. Доскоро се предполагаше, че по този механизъм се абсорбира и преработва слънчева енергия към корпусите на космическите летателни апарати главно чрез молекулярния кислород [10, 15]. Но вече е доказано, че активен участък в дисоциативните процеси е и молекулярният азот [16, 17]. Това е първият път, по който слънчевата активност — и в дълговременните, и в еруптивните ѝ прояви, въздейства върху геодезическите спътници — главно чрез повишаване на неутралната температура  $T_n$  на дисоциираните частички и чрез абсорбираната и преизлъчвана енергия във високата атмосфера. По-високата  $T_n$  води в частност до по-голямо спирачно въздействие върху спътниците, а от последното може да се изчисли обратно  $T_n$  и енергията на изменението в дисоциращата радиация, което е предизвикало повишението ѝ.

2. Второто пряко въздействие на слънчевата активност, в частност на ерупциите, върху аерономичните параметри, а чрез тях и върху движението на ИСЗ, е свързано с повишената йонизация при различните прояви на слънчевата активност, която се дължи на увеличената ултравиолетова, рентгенова и гама-радиация. Прехите нараствания след ерупциите имат най-голям ефект в



ниската йоносфера, където спътниците не летят, но и известни влияния в областта F, където се движат повечето ИСЗ. Ще отбележим, че йонизационните ефекти влияят върху движението на спътниците по два начина:

2.1. Чрез нарастване на йонната  $N_i$  и електронната  $N_e$  концентрация, които предизвикват изменения в зареждането, собствения потенциал и електромагнитните взаимодействия на спътниците с околната им плазма. Електромагнитното спирачно действие на плазмата върху космическите летателни апарати доскоро не се отчиташе. Това предизвикваше значителни грешки при определянето на механичното съпротивление за движението на спътниците. В [18, 19] е показана важноста на измененията в електромагнитния ефективен радиус на спътниците. Тази тематика широко се разработва, но е далеч от своето разрешаване, понеже при различни конфигурации на космическите обекти, при променливи плазмени условия на термосферата, при разнообразни комбинации от електрически и магнитни уреди на борда на ИСЗ и при изменящи се режими на тяхното функциониране се получават дотолкова несъпоставими условия, че засега няма обща теория за тези взаимодействия.

2.2. Чрез нарастване на електронната  $T_e$  и йонната  $T_i$  температура, което следва след ерупциите и което съпровожда йоносферните и геомагнитните смущения. Термализирането на фотоелектроните, на първичните геоактивни протонни и електронни потоци и на вторичните и третичните техни йонни и електронни продукти става чрез повишаване на електронната и йонната температура. Последните от своя страна предизвикват нарастване на неутралната температура  $T_n$ , което става чрез охлаждането на електроните и йоните от неутралните  $v_{en}$  и електронно-йонните  $v_{ei}$  колизии, а в значително по-малка степен чрез сблъскванията  $v_{in}$ . Релаксационното време за тези препредавания, които водят до повишаване на  $T_n$ , е сравнително малко, а за обикновените височини на спътниците над 200 km, то не нараства пропорционално с височината, понеже има големи въздействия от  $v_{en}$  и от повишаване на ролята на неутралните азотни атоми. Концентрацията на тези атоми също нараства след ексцесивни прояви на слънчевата активност.

$N_e, N_i, T_e, T_i$ , повишени по електромагнитен път или чрез повишаване на  $T_n$ , водят до увеличаване на съпротивлението на високата атмосфера за движещите се в нея ИСЗ. Представата, че можем да решим обратната задача — от повишеното спирачно действие за спътника да намерим коя да е от тези 4 величини — е неосъществима. Разглежданата обратна задача, освен че е типично некоректна, включва толкова много лабораторни, теоретични или априорни представи, величини и коефициенти, че изключва рационалното решение. Но съвместният анализ на йонно-сондни наземни и спътникови данни, комбинирани с локални спътникови измервания на  $N_e, N_i, T_e, T_i$ , или използването на сведенията от инкоherentните скетер-радарни позволява при наличие на резултати за спирачните въздействия на високата атмосфера върху ИСЗ да се уточнят скоростите на аеродинамичните реакции, да се определят практически неизмеряеми по други начини величини или да се проведат експерименти по процеси с много труден опитен анализ, каквито са тези за намиране на  $v_{en}$  и  $v_{ei}$ . А различните видове наземни, спътникови и ракетни радиофизически, плазмени и оптически измервания, които водят до определяне на  $N_e, N_i, T_e, T_i$  заедно с измервания спътников драг, който се определя най-точно при геодезическите спътници, довеждат до възможности за трактовка на редица засега неконтролируеми пряко аерономични процеси, например тези за енергийния пренос между неутралните и йонизираните компоненти.

3. Един от важните способности за пренос на слънчевите въздействия и едно-



временно с това за взаимно обвързване на спирачното действие върху спътниците с аерономичните параметри е чрез възбуждането на неутрални и йонизирани частички. Различните типове високоенергийни слънчеви влияния (както чрез електромагнитната, така и чрез корпускулярната радиация от слънчевия вятър) водят до йонизация, дисоциация или само до възбуждане, включително и вибрационно. Впрочем съществена част от продуктите на йонизационно-неутрализационния и дисоциативно-асоциативния баланс са също във възбудено състояние. Най-добрият пример за това са продуктите от дисоциативната рекомбинация, която е доминантен неутрализационен процес за обикновените височинни области, в които летят спътниците [8, 15, 17].

4. Възбудените частички увеличават спирачните въздействия на високата атмосфера главно по два начина:

4.1. Чрез енергийно препредаване, т. е. чрез привеждане например на вибрационната колебателна температура  $T_v$  към неутралната  $T_n$ , което става чрез съответните девъзбуждащи колизии или чрез радиативно деактивиране. При това неутралната температура се повишава, а с това нараства спирачният ефект.

4.2. Чрез улеснената и интензифицирана йонизация на възбудените частички. Последната въздейства върху движението на ИСЗ по отбелязаните способности 2.1 и 2.2. Проблема за влиянията от деактивирането на възбудените частички върху корпусите на космическите летателни апарати не е третиран пълноценно и представлява интересна нова област за анализ на възможни преки взаимодействия на ИСЗ с възбудените компоненти.

5. Особено силни са въздействията върху орбитните параметри на ИСЗ от интензифицирания динамичен пренос, който съпровожда по-големите прояви на слънчевата активност. Резките изменения на транспорта на неутралните и йонизираните съставлящи пряко поставя по траекторията на спътника нови, значително променени плазмени компоненти, които се характеризират дори с променени  $T_n$ ,  $P_n$  и  $N_n$ . От последните промени следват и значителни вариации на спирачните действия на високата атмосфера. Обратно — намирането на динамичния принос от дивергентния член в балансовите уравнения за коя да е аеродинамична компонента чрез точно определяне на спирачното действие е възможно само при комплексни измервания, които предлагат точни сведения за всички членове на баланса с изключение на транспортната му част. В тази област влиянията могат да бъдат както чрез дифузията на неутралните и йонизираните съставлящи, така и чрез преустройството на токовете и ветровете системи. Повишаването на спирачното въздействие в този случай се постига по три начина:

5.1. Чрез по-голяма отдадена енергия и съответното повишение на  $T_n$  при дисипирането на токовете и ветровете системи и в процеса на дифузия;

5.2. Чрез преки влияния на движещата се маса на високата атмосфера;

5.3. Чрез електромагнитните взаимодействия на космическия обект с плазмените динамични системи.

6. Ефектите на слънчевия вятър в спокойно и интензифицирано състояние до голяма степен бяха разгледани в предишните части на тази принципна схема. Магнитосферно-йоносферните взаимодействия, както и йоносферните и геомагнитните бури и смущения, проявяват своите влияния чрез измененията на йонизираните, дисоциираните и възбудените компоненти, чрез енергийния и динамическия пренос, електромагнитните влияния и другите страни на кинетичните и динамическите процеси във високата атмосфера. Поради това тяхното индициране чрез орбитните елементи на геодезическите спътници може



да стане само в комплексни експерименти, които позволяват определянето на основните плазмени и аерономични характеристики от преки или дистанционни измервания, като спиращото влияние е един комбиниран, допълнителен опитен критерий и експериментална даденост.

Особено важно е използването на промените в спиращото въздействие на високата атмосфера за намирането на концентрациите на някои недостъпни за преки измервания съставлящи, между които твърде важна е вибрационно-възбудената азотна молекула  $N_2$  ( $V=0, 1, 2, \dots$ ). Докато за редица възбудени съставлящи можем да съдим по техните естествени оптични и ултравиолетови емисии — например тези за  $O(^1D)$ ,  $O(^1S)$  и др., то за  $N_2$  няма никакви преки критерии. Поради това към методите за комплексно определяне на  $N_2$  ( $V=0, 1, 2, \dots$ ), развити в [20], може да се добавят и сведенията, които се получават от спиращите влияния върху геодезическите спътници.

Резултатите от наблюденията на геодезическите ИСЗ са особено удобни за комплексно използване с ракетни сондажи. В [21, 22] са предложени способи за комбиниране на ракетните измервания с други спътникови и наземни измервания. Към оптималния брой сондажи, определени за различни йоносферни части според [21, 22], добавянето на сравнително дълготрайните резултати от мрежа с наблюдателни станции за спиращото въздействие на високата атмосфера върху спътниците позволява значително да се подобри точността, взаимната обвързаност и адекватността на анализа.

Използването на наблюденията на геодезическите спътници и техните преки измервания в йоносферната и магнитосферната плазма за аерономични цели значително подпомагат съвременната наука за околоземното пространство. От друга страна, напредъкът на аерономията позволява да се уточняват референтните модели за неутралната висока атмосфера (CIRA-86) и за йоносферата (IRI-88) и да се дават все по-адекватни изходни данни за корекции на орбиталните измервания. С това аерономичните постижения пряко ползват космическата геодезия. От друга страна, подобрените знания за околоземното пространство позволяват по-точното отчитане на неговите влияния върху различните способи за намирането на координатите на точки от земната повърхност или в Световния океан и за разрешаването на основни геонамични проблеми. Това е взаимно свързващият комплекс, който обединява усилията на специалисти с различна квалификация на комбинирано мултидисциплинарно третиране на земно-космическите проблеми.

## Л и т е р а т у р а

1. S j o g r e n, W. L. Planetary geodesy, IAG/COSPAR/IAU Intern. — In: Symp. "Figure and dynamics of the Earth, Moon, and Planets", Prague, 1987.
2. A n d e r s o n, A. J. The gravity field of the terrestrial planets, IAG/COSPAR/IAU Intern. — In: Symp. "Figure and dynamics of the Earth, Moon, and Planets", Prague, 1987.
3. С е р а ф и м о в, К. Върху класификацията на научните области „Физика на космическото пространство“ и „астронавтика“. — В: Сб. доклади Юбил. сесия по астрономия и астронавтика, Ст. Загора, 1972.
4. С е р а ф и м о в, К. Космическите дейности като двигател на научно-техническата революция. — Физика, астрономия, идеология, философия, 1, 1985.
5. Д а с к а л о в а, М. Космическа геодезия. С., Техника, 1980.
6. Г е о р г и е в, Н., А. Х а д ж и й с к и, В. К о ц е в а. Изкуствени спътници на Земята, използвани за целите на геодезията и геодинамиката. — Геод., карт., земеустр., 1988, бр. 4.
7. С е р а ф и м о в, К. Геодезическите спътници и аерономията. Доклад Юбил. научна сесия „40 години ЦЛВГ“, 1988.



8. Серафимов, К. Космические исследования в Болгарии. С., БАН, 1979.
9. Георгиев, Н., А. Г. Масевич, Б. М. КленцкиЙ, С. К. Татевян. Использование оптических наблюдений искусственных спутников Земли для геодезии. С., БАН, 1979.
10. Banks, P. M., G. Koskarts. Aeronomy, p. A and B. N.Y. and London, Acad. Press, 1973.
11. Серафимов, К., М. Гогошев, Ц. Гогошева. Модели точного высотного распределения эмиссии 6300 А. — Геомагнетизм и аэрномия, 17, 1977, № 6.
12. Gogosheva, Ts., K. Serafimov, M. Gogoshev. Optical testing of IRI and MSS model intercomparison. — In: 23th COSPAR Plen. Meet., Budapest, June 1, 1980.
13. Serafimov, K., M. Gogoshev. Possibilities for CIRA models improvements through the use of ground based rocket and satellite airglow data. — In: 25th COSPAR Plen. Meet., 1984.
14. Ivanov-Kholodny, G. S., K. B. Serafimov, M. Gogoshev. Relations and comparisons of neutral atmosphere models with IRI. — In: 27th COSPAR Plen. Meet., Helsinki, 1988.
15. Серафимов, К. Физика средней ионосферы. С., БАН, 1970.
16. Richards, G. P., D. G. Torr, M. R. Torr. Photodissociation of N, a significant source of atmospheric atomic nitrogen. — Journ. Geoph. Res., 86, 1981, No A3.
17. Serafimov, K. Atomic nitrogen in near-Earth surrounding. — Space Science Review, 1989, No 2.
18. Serafimov, K., I. Kutiev, M. Gogoshev, Ts. Dachev, L. Bankov, Ju. Matviichuk. Electrostatically and magnetically active radius of a satellite. — In: U. N. General Assembly, Doc. A/AC. 105/259 add. 1, U. N. New-York, Jan. 14, 1980.
19. The world in space. United Nations, Ed. R. Chipman. New Jersey, Prentice Hall, 1982.
20. Серафимов, К. Методи за наземни и преки измервания на вибрационно възбудените атомни молекули. — Бълг. геофиз. сп., с., БАН, 1989.
21. Серафимов, К. Оптимальное число зондажей для полного исследования ионизационно-нейтрализационных и динамических характеристик средней ионосферы. — Космические исследования, XI, 1973, № 4.
22. Serafimova, M. Optimum number of rocket soundings for the complete determinations of the ionospheric parameters. — In: 36th Int. Astronaut. Congress, Stockholm, 1985.

Постъпила на 19. IV. 1994 г.

## Geodetic satellites and aeronomy

**Kiril Serafimov**, *Veneta Kotseva*

(Summary)

A discussing survey of the interrelations between the planetary geodesy, the geodetic satellites, the aeronomy and the basic neutral and ionospheric parameters of the upper atmosphere has been made. The contemporary problems and the long-term perspectives of the integrated geodetic-aeronomic investigations and experiments have been considered. The principal scheme according to which the aeronomic processes are running is given. Their drag at the orbit movements of the geodetic satellites has been elucidated. Different possibilities for using the observations of the geodetic satellites together with the observations of rockets, sounding balloons and other types observations from ground stations and satellites with purpose to make more precise the references of the neutral upper atmosphere and the ionosphere have been indicated.