ISSN 1392–1541

Geodezija ir kartografija, 2004, XXX t., Nr. 1
Geodesy and Cartography, 2004, Vol XXX, No 1

UDK 528.22:629.195

DINAMINIO METODO LYGTYS, KAI PALYDOVO ORBITA ARTIMA PARABOLEI

Petras Petroškevičius

Geodezijos ir kadastro katedra, Geodezijos institutas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva, el. paštas: petras.petroskevicius@ap.vtu.lt

Įteikta 2004 01 20, priimta 2004 02 10

Santrauka. Gautos kosminės geodezijos dinaminio metodo lygtys. Taikant šias lygtis, pagal išmatuotas palydovo topocentrines koordinates galima patikslinti geopotencialo zoninius ir nezoninius koeficientus, punktų geocentrines koordinates bei palydovo orbitos elementus. Lygtyse vietoje laiko taikomas kintamasis σ_0, siejamas su parabolinio judėjimo, kurio perigėjaus nuotolis tas pats kaip ir palydovo judėjimo, tikrąja anomalija v_0, $\sigma_0 = \operatorname{tg}\frac{v_0}{2}$. Lygčių koeficientai išreikšti dydžio $\gamma = \frac{1-e}{2}$ laipsninėmis eilutėmis. Čia e – orbitos ekscentricitetas. Eilutės absoliučiai konverguoja esant įvairioms palydovo orbitos ekscentriciteto reikšmėms nuo 0 iki 1. Eilutes galima taikyti, kai $\left|\sigma_0\sqrt{\gamma}\right| < 1$. Jos ypač efektyvios, kai palydovo orbitos ekscentricitetas artimas vienetui.

Raktažodžiai: kosminės geodezijos dinaminis metodas, geopotencialo parametrų nustatymas, beveik parabolinis DŽP judėjimas.

1. Įvadas

Kosminės geodezijos dinaminiu metodu nustatomos punktų geocentrinės koordinatės, patikslinami palydovų orbitos elementai bei geopotencialo parametrai. Šiuo metodu įtvirtinamos geocentrinės koordinačių sistemos, sudaromi atraminiai didelio tikslumo geodeziniai tinklai. Tokiu būdu sukuriamas vieningas geodezinis pagrindas Žemės formai nustatyti ir jos kitimams tyrinėti [1–3].

Ypač vertingos kosminės geodezijos dinaminio metodo galimybės tiriant Žemės gravitacijos lauką. Remiantis įvairiais DŽP stebėjimo duomenimis ir atliekant palydovų orbitų analizę, patikimai nustatomi žemesniosios eilės zoniniai ir nezoniniai geopotencialo koeficientai, apibūdinantys Žemės formos ir jos gravitacijos lauko bendresnes detales [4–6]. Detalieji Žemės gravitacijos lauko tyrimai atliekami remiantis Žemės paviršiuje atliekamų gravimetrinių matavimų duomenimis [7–8]. Pagal įvairiais matavimų metodais gautus duomenis sudaromi geopotencialo modeliai [9–10]. Siekiant išplėsti kosminės geodezijos dinaminio metodo galimybes didinant nustatomų geopotencialo parametrų skaičių ir tikslumą, naudojami žemiau judantys, tam tikros specialios konstrukcijos ir mažiau atmosferos poveikio stabdomi palydovai. Tam tikslui taikomos ir doplerinės sistemos „palydovas – palydovas“. Tačiau kosminės geodezijos dinaminio metodo galimybės taip pat didėja naudojant palydovus, judančius įvairiomis orbitomis [4, 11]. Dabar Žemės gravitacijos laukui tirti dažniausiai naudojami palydovai, judantys orbitomis, kurių ekscentricitetas neviršija Laplaso ribos. Tokių palydovų judėjimo teorijose taikomos klasikinės dangaus mechanikos koordinačių eilutės, absoliučiai konverguojančios iki Laplaso ribos [12].

Siekiant išplėsti kosminės geodezijos dinaminio metodo galimybes, tikslinga naudoti palydovus, judančius ištęstomis orbitomis, kurių ekscentricitetas viršija Laplaso ribą [11]. Tokių palydovų judėjimo teorijai tinka koordinačių eilutės $\gamma = \frac{1-e}{2}$ dydžio laipsniais [13]. Čia e – orbitos ekscentricitetas. Didėjant ekscentricitetui, eilučių konvergavimo greitis didėja. Šiuo atveju judėjimo teorijoje vietoje laiko taikomas naujas kintamasis σ_0, siejamas su parabolinio judėjimo, kurio perigėjaus nuotolis tas pats kaip ir palydovo judėjimo, tikrąja anomalija v_0, $\sigma_0 = \operatorname{tg}\frac{v_0}{2}$. Judėjimo teorija, taikant minėtąsias eilutes, tinka, kai $\left|\sigma_0\sqrt{\gamma}\right| < 1$. Straipsnyje [14] išnagrinėtos orbitinio metodo lygtys, kai palydovo orbita artima parabolei. Šiame straipsnyje pateikiamos kosminės geodezijos dinaminio metodo lygtys, tinkančios palydovams, judantiems beveik parabolinėmis orbitomis.

2. Dinaminio metodo lygtys

Geopotencialo parametrams, punktų koordinatėms ir palydovo orbitos elementams patikslinti taikysime kosminės geodezijos dinaminį metodą [4]. Laikysime, kad Žemės paviršiaus punktuose pasaulio laiko momentais t išmatuotos palydovo topocentrinės koordinatės: rektascensija – α_0', deklinacija – δ_0', topocentrinis atstumas – r_0'. Palydovo, judančio beveik paraboline orbita, orbitos elementai: q – perigėjaus nuotolis, γ – dydis, susijęs su palydovo orbitos ekscentricitetu, i – orbitos plokštumos posvyris į pusiaujo plokštumą, Ω – kilimo mazgo rektascensija, ω – perigėjaus kampinis nuotolis nuo kilimo mazgo, σ_0 – dydis, susijęs su parabolinio judėjimo tikrąja anomalija.

Taikant dinaminį metodą patikslinamos punkto stačiakampės koordinatės X, Y, Z Grinvičo koordinačių sistemoje, pradiniai palydovo orbitos elementai q_0, γ_0, i_0, Ω_0, ω_0, $\overline{\sigma}_0$ laiko momentu t_0; geopotencialo ir viršutinės atmosferos parametrai bei Žemės gravitacinis parametras μ.

Parašysime dinaminio metodo lygtis:

topocentrinės rektascensijos –

$$\begin{aligned}\alpha_o' - \alpha_c' &= \frac{\partial\alpha'}{\partial X}\Delta X + \frac{\partial\alpha'}{\partial Y}\Delta Y + \frac{\partial\alpha'}{\partial Z}\Delta Z + \\ &+ \frac{\partial\alpha'}{\partial\Omega_0}\Delta\Omega_0 + \frac{\partial\alpha'}{\partial i_0}\Delta i_0 + + \frac{\partial\alpha'}{\partial\omega_0}\Delta\omega_0 + \\ &+ \frac{\partial\alpha'}{\partial q_0}\Delta q_0 + \frac{\partial\alpha'}{\partial\gamma_0}\Delta\gamma_0 + \frac{\partial\alpha'}{\partial\overline{\sigma}_0}\Delta\overline{\sigma}_0 + \\ &+ \sum_{l=2}^{L}\sum_{m=0}^{l}\left(\frac{\partial\alpha'}{\partial C_{lm}}\Delta C_{lm} + \frac{\partial\alpha'}{\partial S_{lm}}\Delta S_{lm}\right) + \\ &+ \alpha t + \beta t^2 + \ldots,\end{aligned} \tag{1}$$

topocentrinės deklinacijos –

$$\begin{aligned}\delta_o' - \delta_c' &= \frac{\partial\delta'}{\partial X}\Delta X + \frac{\partial\delta'}{\partial Y}\Delta Y + \frac{\partial\delta'}{\partial Z}\Delta Z + \\ &+ \frac{\partial\delta'}{\partial\Omega_0}\Delta\Omega_0 + \frac{\partial\delta'}{\partial i_0}\Delta i_0 + \frac{\partial\delta'}{\partial\omega_0}\Delta\omega_0 + \\ &+ \frac{\partial\delta'}{\partial q_0}\Delta q_0 + \frac{\partial\delta'}{\partial\gamma_0}\Delta\gamma_0 + \frac{\partial\delta'}{\partial\overline{\sigma}_0}\Delta\overline{\sigma}_0 + \\ &+ \sum_{l=2}^{L}\sum_{m=0}^{l}\left(\frac{\partial\delta'}{\partial C_{lm}}\Delta C_{lm} + \frac{\partial\delta'}{\partial S_{lm}}\Delta S_{lm}\right) + \\ &+ \alpha t + \beta t^2 + \ldots,\end{aligned} \tag{2}$$

topocentrinio atstumo iki palydovo –

$$\begin{aligned}r_o' - r_c' &= \frac{\partial r'}{\partial X}\Delta X + \frac{\partial r'}{\partial Y}\Delta Y + \frac{\partial r'}{\partial Z}\Delta Z + \\ &+ \frac{\partial r'}{\partial\Omega_0}\Delta\Omega_0 + \frac{\partial r'}{\partial i_0}\Delta i_0 + \frac{\partial r'}{\partial\omega_0}\Delta\omega_0 + \\ &+ \frac{\partial r'}{\partial q_0}\Delta q_0 + \frac{\partial r'}{\partial\gamma_0}\Delta\gamma_0 + \frac{\partial r'}{\partial\overline{\sigma}_0}\Delta\overline{\sigma}_0 + \\ &+ \sum_{l=2}^{L}\sum_{m=0}^{l}\left(\frac{\partial r'}{\partial C_{lm}}\Delta C_{lm} + \frac{\partial r'}{\partial S_{lm}}\Delta S_{lm}\right) + \\ &+ \alpha t + \beta t^2 + \ldots + \frac{\partial r'}{\partial\mu}\Delta\mu,\end{aligned} \tag{3}$$

čia $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – punkto geocentrinių koordinačių pataisos; $\Delta\Omega_0, \Delta i_0, \Delta\omega_0, \Delta q_0, \Delta\gamma_0, \Delta\overline{\sigma}_0$ – pradinių orbitos elementų pataisos; C_{lm}, S_{lm}, $\Delta C_{lm}, \Delta S_{lm}$ – geopotencialo parametrai ir jų pataisos; $\alpha, \beta, \ldots$ – atmosferą apibūdinantys parametrai; $\Delta\mu$ – Žemės gravitacinio parametro pataisa; $\alpha_c', \delta_c', r_c'$ – apskaičiuotosios, įskaitant visus trikdymus matavimų momentu, topocentrinių koordinačių reikšmės. Kadangi laiko intervalai nedideli, palydovo orbitos trikdymams nustatyti galima taikyti judėjimo lygčių skaitinį integravimą. Gravitaciniams trikdymams nustatyti taip pat galima taikyti sutrikdytojo judėjimo formules [15]. Kai lygčių skaičius viršija nežinomųjų skaičių, jas galima vertinti kaip pataisų lygtis ir, sudarius normalinių lygčių sistemą, ieškoti patikimiausių pataisų reikšmių.

Toliau nustatysime dinaminio metodo lygčių koeficientus, tinkančius, kai DŽP judėjimas beveik parabolinis.

3. Geopotencialo parametrų pataisų koeficientai

Šie koeficientai nustatomi pagal formules [4]:

$$\frac{\partial k}{\partial C_{lm}} = \sum_{s=1}^{6} A_s \frac{\partial\theta_s}{\partial C_{lm}}, \tag{4}$$

$$\frac{\partial k}{\partial S_{lm}} = \sum_{s=1}^{6} A_s \frac{\partial\theta_s}{\partial S_{lm}}, \tag{5}$$

čia

$$A_s = \left(\frac{\partial k}{\partial x'}\frac{\partial x}{\partial\theta_s} + \frac{\partial k}{\partial y'}\frac{\partial y}{\partial\theta_s} + \frac{\partial k}{\partial z'}\frac{\partial z}{\partial\theta_s}\right), \tag{6}$$

k – bet kuri palydovo topocentrinė koordinatė, θ – bet kuris palydovo orbitos sutrikdytas elementas, x, y, z – palydovo geocentrinės inercinės sistemos koordinatės, x', y', z' – palydovo topocentrinės koordinatės.

Koeficientams A_s nustatyti taikytinos straipsnyje [14] pateiktos formulės.

Atsižvelgiant į geopotencialo trikdančiosios funkcijos išraišką [15], galima parašyti

$$\frac{\partial\theta}{\partial C_{lm}}=\frac{\partial\Delta\theta'_{lm}}{\partial C_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\partial\delta\theta_{lmpn}}{\partial C_{lm}}\Bigg|_{\bar{\sigma}_0}^{\sigma_0}, \qquad (7)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial S_{lm}}=\frac{\partial\Delta\theta'_{lm}}{\partial S_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\partial\delta\theta_{lmpn}}{\partial S_{lm}}\Bigg|_{\bar{\sigma}_0}^{\sigma_0}, \qquad (8)$$

taigi, remdamiesi beveik parabolinės palydovo orbitos elementų pirmosios eilės geopotencialo trikdymus išreiškiančiomis formulėmis [15], gauname

$$\begin{aligned}\frac{\partial\Omega}{\partial C_{lm}}=&\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{\sqrt{1-\gamma}}\operatorname{cosec} i\,\frac{\partial F_{lmp}(i)}{\partial i}\times\sum_{\nu=0}^{\infty}\left\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\left[\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\right.\right.\\&\left.+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}+\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}-\sin\\ \cos\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\left[\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\right.\\&\left.\left.+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2}\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\right\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|_{\bar{\sigma}_0}^{\sigma_0}, \qquad (9)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial\Omega}{\partial S_{lm}}=&\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{\sqrt{1-\gamma}}\operatorname{cosec} i\,\frac{\partial F_{lmp}(i)}{\partial i}\sum_{\nu=0}^{\infty}\left\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\sin\\ -\cos\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\left[\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\right.\right.\\&\left.+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}+\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\times\\&\left.\times\left[\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2}\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\right\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|_{\bar{\sigma}_0}^{\sigma_0}, \qquad (10)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial i}{\partial C_{lm}}=&\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{\sqrt{1-\gamma}}F_{lmp}(i)\left[(l-2p)\operatorname{ctg} i-m\operatorname{cosec} i\right]\sum_{\nu=0}^{\infty}\left\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}-\sin\\ \cos\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\times\right.\\&\times\left[\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}-\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\times\\&\left.\times\left[\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2}\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\right\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|_{\bar{\sigma}_0}^{\sigma_0}, \qquad (11)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial i}{\partial S_{lm}}=&\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{\sqrt{1-\gamma}}F_{lmp}(i)\left[(l-2p)\operatorname{ctg} i-m\operatorname{cosec} i\right]\sum_{\nu=0}^{\infty}\left\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\times\right.\\&\times\left[\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}-\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\sin\\ -\cos\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\times\\&\left.\times\left[\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2}\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\right\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|_{\bar{\sigma}_0}^{\sigma_0}, \qquad (12)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial\omega}{\partial C_{lm}}=&\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n\sqrt{1-\gamma}}{(1-\gamma)}\sum_{\nu=0}^{\infty}\left\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\left[\left(2F_{lmp}(i)(l-n+1)-\frac{(1-2\gamma)}{(1-\gamma)}\operatorname{ctg} i\,\frac{\partial F_{lmp}(i)}{\partial i}\right)\times\right.\right.\\&\times\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)+F_{lmp}(i)\frac{(2n+2\nu)}{(2n-2l-2\nu-2)}\left(3\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\right.\\&\left.\left.+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}+\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}-\sin\\ \cos\end{matrix}\left[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\right]\times\end{aligned}$$

$$\times\Bigg[\left(2(l-n+1)F_{lmp}(i)-\frac{(1-2\gamma)}{1-\gamma}\operatorname{ctg} i\,\frac{\partial F_{lmp}(i)}{\partial i}\right)\left(\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)+$$

$$+F_{lmp}(i)\begin{matrix}(2\nu+1)\\(2n-2l-2\nu-3)\end{matrix}\left(3\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^2\\\sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\\bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{13}$$

$$\frac{\partial\omega}{\partial S_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n\sqrt{1-\gamma}}{(1-2\gamma)}\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\sin\\-\cos\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\times\Bigg[\left(2F_{lmp}(i)(l-n+1)-\frac{(1-2\gamma)}{(1-\gamma)}\operatorname{ctg} i\,\frac{\partial F_{lmp}(i)}{\partial i}\right)\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\(2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2+F_{lmp}(i)\begin{matrix}(2n+2\nu)\\(2n-2l-2\nu-2)\end{matrix}\times\right.$$

$$\left.\times\left(3\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\(2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)\right]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\\sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}+\begin{matrix}S'_\nu\\S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}[((l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\times\Bigg[\left(2(l-n+1)F_{lmp}(i)-\frac{(1-2\gamma)}{(1-\gamma)}\operatorname{ctg} i\,\frac{\partial F_{lmp}(i)}{\partial i}\right)\left(\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)+$$

$$+F_{lmp}(i)\begin{matrix}(2\nu+1)\\(2n-2l-2\nu-3)\end{matrix}\left(3\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^2\right)\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^2\\\sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\\bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{14}$$

$$\frac{\partial q}{\partial C_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{a_e^l}{q^{l-1}}\frac{\gamma^n}{(1-2\gamma)}F_{lmp}(i)\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[2\sqrt{1-\gamma}(l-2p)\begin{matrix}-\sin\\\cos\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\(2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)-\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^{2n}\\\sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}-\begin{matrix}S'_\nu\\S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\times$$

$$\times\Bigg[2\sqrt{1-\gamma}(l-2p)\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-\Theta)]\left(\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)+$$

$$+\begin{matrix}-\sin\\\cos\end{matrix}\Big[(l-2p)\omega+m(\Omega-\Theta)\Big]\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0\\\sigma_0^{2n-2l-3}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\\bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{15}$$

$$\frac{\partial q}{\partial S_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{a_e^l}{q^{l-1}}\frac{\gamma^n}{(1-2\gamma)}F_{lmp}(i)\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[2\sqrt{1-\gamma}(l-2p)\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\times\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\(2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)-\begin{matrix}\sin\\-\cos\end{matrix}\Big[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\Big]\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^{2n}\\\sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}-\begin{matrix}S'_\nu\\S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\times$$

$$\times\Bigg[2\sqrt{1-\gamma}(l-2p)\begin{matrix}\sin\\-\cos\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\left(\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)+$$

$$+\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0\\\sigma_0^{2n-2l-3}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\\bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{16}$$

$$\frac{\partial\gamma}{\partial C_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{(1-2\gamma)}F_{lmp}(i)\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[2\gamma\sqrt{1-\gamma}(l-2p)\begin{matrix}-\sin\\\cos\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\times\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\(2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)-(1-\gamma)\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}\Big[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\Big]\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^{2n}\\\sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}-\begin{matrix}S'_\nu\\S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\times$$

$$\times\Bigg[2\gamma\sqrt{1-\gamma}(l-2p)\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\left(\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\(2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\(2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)+$$

$$+(1-\gamma)^{\begin{matrix}-\sin\\ \cos\end{matrix}}\,[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\;\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0\\ \sigma_0^{2n-2l-3}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm 2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\ \bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{17}$$

$$\frac{\partial\gamma}{\partial S_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{(1-2\gamma)}F_{lmp}(i)\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[2\gamma\sqrt{1-\gamma}(l-2p)^{\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\times\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\begin{matrix}(2n+2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)-(1-\gamma)^{\begin{matrix}\sin\\ -\cos\end{matrix}}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\;\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^{2n}\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}-$$

$$-\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[2\gamma\sqrt{1-\gamma}(l-2p)^{\begin{matrix}\sin\\ -\cos\end{matrix}}\,[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\Bigg(\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+$$

$$+\begin{matrix}(2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\Bigg)+(1-\gamma)^{\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}}\Big[\;(l-2p)\omega+m(\Omega-S)\Big]\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0\\ \sigma_0^{2n-2l-3}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm 2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\ \bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{18}$$

$$\frac{\partial\sigma_0}{\partial C_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{(1-2\gamma)}F_{lmp}(i)\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[\left(\frac{n(1-\gamma)}{\gamma}-l-1\right)^{\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}-$$

$$-3\sqrt{1-\gamma}(l-2p)^{\begin{matrix}-\sin\\ \cos\end{matrix}}\,[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\frac{1}{3}\begin{matrix}(2n+2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+2)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}+$$

$$+\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[\left(\frac{n(1-\gamma)}{\gamma}-l-1\right)^{\begin{matrix}-\sin\\ \cos\end{matrix}}[((l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}+$$

$$+3\sqrt{1-\gamma}(l-2p)^{\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\left(\begin{matrix}(2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\frac{1}{3}\begin{matrix}(2\nu+5)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^2\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm 2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\ \bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{19}$$

$$\frac{\partial\sigma_0}{\partial S_{lm}}=\sum_{p=0}^{l}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{a_e}{q}\right)^{l}\frac{\gamma^n}{(1-2\gamma)}F_{lmp}(i)\sum_{\nu=0}^{\infty}\Bigg\{\begin{matrix}N'_\nu\\ N_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[\left(\frac{n(1-\gamma)}{\gamma}-l-1\right)^{\begin{matrix}\sin\\ -\cos\end{matrix}}\,[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\times$$

$$\times\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+1)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}-3\sqrt{1-\gamma}(l-2p)^{\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\left(\begin{matrix}(2n+2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\frac{1}{3}\begin{matrix}(2n+2\nu+4)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+2)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)\right)\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^{2n+1}\\ \sigma_0^{2n-2l-1}\end{matrix}+$$

$$+\begin{matrix}S'_\nu\\ S_\nu\end{matrix}(n,-l-1,l-2p)\Bigg[\left(\frac{n(1-\gamma)}{\gamma}-l-1\right)^{\begin{matrix}\cos\\ \sin\end{matrix}}[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\begin{matrix}(2\nu+2)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-2)^{-1}\end{matrix}++3\sqrt{1-\gamma}(l-2p)^{\begin{matrix}\sin\\ -\cos\end{matrix}}\times$$

$$\times[(l-2p)\omega+m(\Omega-S)]\left(\begin{matrix}(2\nu+3)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu-1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0+\frac{1}{3}\begin{matrix}(2\nu+5)^{-1}\\ (2n-2l-2\nu+1)^{-1}\end{matrix}\sigma_0^3\right)\;\Bigg]\begin{matrix}\sigma_0^2\\ \sigma_0^{2n-2l-2}\end{matrix}\Bigg\}\sigma_0^{\pm 2\nu}\Bigg|\begin{matrix}\sigma_0\\ \bar{\sigma}_0\end{matrix}, \tag{20}$$

čia a_e – vidutinis Žemės pusiaujo spindulys; $F_{lmp}(i)$ – palydovo orbitos posvyrio funkcija [15]; $S'_\nu(n,\alpha,p)$, $N'_\nu(n,\alpha,p)$, $S_\nu(n,\alpha,p)$, $N_\nu(n,\alpha,p)$ – skaitiniai koeficientai, priklausantys nuo indeksų n,α,p,ν [13]. Formulėse (9–20) viršutinė eilutė atitinka atvejį, kai $\sigma_0<1$, o apatinė – kai $\sigma_0>1$, σ_0 laipsnio rodiklis teigiamas, kai $\sigma_0<1$, neigiamas – kai $\sigma_0>1$, viršutinės eilutės trigonometrinė funkcija imama tuo atveju, kai $l-m$ – lyginis skaičius, apatinės – kai $l-m$ – nelyginis skaičius. Formulėse yra trūkis, kai $\sigma_0=1$. Eilutes galima taikyti, kai $\left|\sigma_0\sqrt{\gamma}\right|<1$. Ženklas $\Big|\begin{matrix}\sigma_0\\ \bar{\sigma}_0\end{matrix}$ reiškia, kad išvestinės prieaugis skaičiuotinas σ_0 kintant nuo $\bar{\sigma}_0$ iki σ_0.

Žemės gravitacinio parametro pataisos koeficientas nustatomas pagal formulę [4]

$$\frac{\partial r'}{\partial\mu}=\frac{\partial r'}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial\mu}, \tag{21}$$

čia a – palydovo orbitos didžioji pusašė,

$$\frac{\partial r'}{\partial a}=\frac{\partial r'}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial a}+\frac{\partial r'}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial a}+\frac{\partial r'}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial a}. \tag{22}$$

Remdamiesi trečiuoju Keplerio dėsniu galime parašyti

$$\frac{\partial a}{\partial \mu} = \frac{a}{3\mu}. \qquad (23)$$

Taikydami nesutrikdytojo judėjimo formules gauname:

$$\frac{\partial x}{\partial a} = (\cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i)\frac{\left(1-e^2\right)}{1+e\cos v}, \quad (24)$$

$$\frac{\partial y}{\partial a} = (\cos u \sin \Omega + \sin u \cos \Omega \cos i)\frac{\left(1-e^2\right)}{1+e\cos v}, \quad (25)$$

$$\frac{\partial z}{\partial a} = \sin u \sin i \frac{\left(1-e^2\right)}{1+e\cos v}, \qquad (26)$$

čia u – platumos argumentas.

Pateiktosios kosminės geodezijos dinaminio metodo lygtys, tinkančios, kai DŽP judėjimas beveik parabolinis, gali būti taikomos punktų geocentrinėms koordinatėms, geopotencialo parametrams ir orbitos elementams patikslinti. Vietoje laiko taikomas naujas kintamasis σ_0, susijęs su parabolinio judėjimo tikrąja anomalija. Lygčių koeficientai išreikšti dydžio γ laipsninėmis eilutėmis. Eilutės absoliučiai konverguoja esant įvairioms palydovo orbitos ekscentriciteto reikšmėms nuo 0 iki 1. Didėjant ekscentricitetui eilučių konvergencijos greitis didėja, todėl jos ypač efektyvios, kai palydovo orbitos ekscentricitetas artimas vienetui.

Palydovų, judančių beveik parabolinėmis orbitomis, topocentrinėms koordinatėms nustatyti galima naudoti įvairias šiuolaikines kosminės geodezijos priemones: lazerinius tolimačius, ilgos bazės radiointerferometrus ir kt. Tokių matavimų tikslumas ir rėmimasis pateiktąja teorija leidžia gauti naujos informacijos apie Žemės gravitacijos lauką, punktų geocentrines padėtis bei beveik parabolinį judėjimą.

4. Išvados

Gautos dinaminio metodo lygtys, tinkančios palydovams, judantiems beveik parabolinėmis orbitomis, taikyti kosminės geodezijos uždaviniams spręsti. Lygčių koeficientai išreikšti dydžio γ laipsninėmis eilutėmis. Vietoje laiko taikomas naujas kintamasis σ_0, susijęs su parabolinio judėjimo, kurio perigėjaus nuotolis toks pats kaip ir palydovo judėjimo, tikrąja anomalija. Eilutės tinka, kai $\left|\sigma_0\sqrt{\gamma}\right| < 1$. Jų konvergavimo greitis didėja, kai palydovo orbitos ekscentricitetas artėja prie vieneto. Dinaminio metodo lygtys gali būti taikomos geopotencialo parametrams, punktų geocentrinėms koordinatėms bei palydovo orbitos parametrams patikslinti.

Literatūra

1. Žalnierukas, A.; Petroškevičius, P. New Lithuanian Geodesy in turn of time (Neue Geodäsie in Litauen in der Zeit der letzten Umwandlungen). Schriftenreihe des DVW. Wiesbaden: Wittwer, 1998. Band 33, S. 71–81 (in German).
2. Petroškevičius, P.; Ramanauskas, R. Establishment of GPS fundamental network in Lithuania (Lietuvos valstybinio GPS tinklo sudarymas). *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, No 1 (21). Vilnius: Technika, 1995, p. 3–20 (in Lithuanian).
3. Zakarevičius, A. Coordinate systems of Lithuanian geodetic networks and their connection (Lietuvos geodezinių tinklų koordinačių sistemos ir jų ryšiai). Vilnius: Technika, 1996. 200 p. (in Lithuanian).
4. Baranov, V. N.; Boiko, J. G. and others. Satellite geodesy (Космическая геодезия). Moscow: Nedra, 1986. 407 p. (in Russian).
5. Klees, R.; Koop, R.; Visser, P. Et al. Efficient gravity field recovery from GOCE gravity gradient observations. *Journal of geodesy*, 74, No 7, 2000, p. 561–572.
6. Visser, P.; Van Den Ijssel, J.; Koop, R. et al. Exploring gravity field determination from orbit perturbations of the European Gravity Mission GOCE. *Journal of geodesy*, 75, No 2, 2001, p. 89–99.
7. Torge, W. The changing role of gravity reference networks. Geodesy on the Move. Gravity, Geoid, Geodynamics and Antarctica. IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, Brasil, September 3–9, 1997. Springer, 1998, p. 1–10.
8. Sas-Uhrynowski, A.; Mroczek, S.; Sas, A.; Petroškevičius, P.; Obuchowski, R.; Rimkus, D. Establishment of Lithuanian national gravimetric first order network. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXVIII, No 3, Vilnius: Technika, 2002, p. 75–82.
9. Rapp, R. H. Past and future developments in geopotential modeling. Geodesy on the Move. Gravity, Geoid, Geodynamics and Antarctica. IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, Brasil, September 3–9, 1997. Springer, 1998, p. 58–78.
10. Kern, M.; Schwarz, K.P.; Sneeuw, N. A study on the combination of satellite, airborne, and terrestrial gravity data. *Journal of geodesy*, 77, No 3–4, 2003, p. 217–225.
11. Plachov, J. V. Application of the theory of perturbations in the satellite geodesy (Применение теории возмущений в космической геодезии). Moscow: Nedra, 1983. 200 p. (in Russian).
12. Duboshin, G. N. Celestial Mechanics (Небесная механика). Moscow: Nauka, 1975. 799 p. (in Russian).
13. Petroškevičius, P. Dispersing in line the coordinations of nearly parabolic nonperturb movement (Разложение координат невозмущенного близпараболического движения в ряды). *Papers of Geodesy* (*Geodezijos darbai)*, Vol IX, Vilnius, 1979, p. 121–132 (in Russian).
14. Petroškevičius, P. Equations of orbital method for near-parabolic movement (Orbitinio metodo lygtys, kai palydovo orbita artima parabolei). *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, Vol XXIX, No 3. Vilnius: Technika, 2003, p. 73–77 (in Lithuanian).
15. Petroškevičius, P. Nearly parabolic satellite movement in the Earth's gravity field (Движение близпараболического спутника в гравитационном поле Земли). *Papers of Geodesy* (*Geodezijos darbai)*, Vol IX, Vilnius, 1979, p. 112–120 (in Russian).