UOT 528.4, 528.856

ATMOSFER CƏBHƏLƏRİN GPS SİQNALLARININ GECİKMƏSİNƏ ETDİYİ TƏSİRİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

R.Ə. EMİNOV*

GPS sistemi siqnallarının troposfer gecikməsinə gətirib çıxaran və qoşa hadisələr nəticəsində baş verən, yani *isti cəbhənin gəlməsi və soyuq cəbhənin gəlməsi* ilə əlaqədər olan, ən vacib amillərdən biri kimi atmosfer cəbhələri təhlil olunmuşdur. Atmosfer cəbhələrin gəlməsi ilə əlaqədar troposfer gecikməsinin müəyyən səviyyədən artıq başverməsi ehtimalının hesablanması üçün düstur təklif edilmişdir. Atmosfer cəbhələrin gəlməsinin proqnozu üçün məsafədən zondlaşdırmanın texniki vasitələrinin quraşdırılması qaydaları müəyyən olunmuşdur.

Açar sözlər: *atmosfer cəbhələri, GPS siqnallar, troposfer gecikmə, məsafədən zondlaşma, proqnozlaşdırma.*

Giriş. Bir çox alimlərin tədqiqatları, göstərir ki, atmosfer amilləri GPS siqnallarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edərək, təyin olunan nöqtə koordinatlarının və yüksəkliklərinin qiymətlərində müəyyən səhvlərin yaranmasına səbəb olur [1].

İş [2]-də qeyd olunur ki, atmosfer cəbhələri nəinki havanın dəyişməsinə gətirən və hətta GPS sistemlərinin işini pozan ən vacib meteoroloji hallardır. Bu cəbhələr troposferdə yarandığı üçün, əsasən siqnallar yayılmasının troposfer gecikməsinə təsir edir.

Bu prosesləri dərindən öyrənmək üçün aşağıda atmosfer cəbhələrin qısa xarakteristikasını verək. Atmosfer cəbhəsi iki müxtəlif hava kütlələri arasındakı sərhəd hesab olunur. Hava kütlələri aşağıdakı parametrlərlə fərqlənir: Hərarətlə; Küləyin sürətilə; Rütubətlə.

Müşahidə zonasında cəbhənin hərəkəti istiqamətindən və hərəkətinin sonrakı dəyişməsindən asılı olaraq atmosfer cəbhəsi soyuq, yaxud isti adlanır. Əgər soyuq hava isti hava ilə əvəz edilərsə, onda hərəkət etməyən müşahidəçi üçün bu hal soyuq cəbhənin gəlməsi deməkdir və əksinə, əgər isti hava soyuq hava ilə əvəz edilərsə, onda bu hal isti cəbhənin gəlməsi deməkdir.

Fiziki cəhətdən atmosfer cəbhəsi nisbətən nazik (qalınlığı 40-200 km olan) və iki hava kütlələrini ayıran üçölçülü hava sipərinə bənzəyir. Bəzi hallarda cəbhəni frontal zona da adlandırırlar.

Cəbhələr hərəkətlərinin bu vacib xüsusiyyətləri nəticədə atmosfer cəbhələrinin GPS sisteminin işinə etdiyi təsirini birüzə verir.

İş [2]-ə əsasən atmosfer cəbhələr gəlişinin əsas göstəriciləri kimi aşağıdakılar hesab olunur:

İsti cəbhənin gəlişi: bu cəbhənin gəlişinə qədər hərarət tədricən galxır; küləyin sürəti artır, təzyiq düşür, nisbi rütubət isə yağıntılara görə artır. Cəbhənin keçməsi müddətində hərarət qalxır, külək istiqamətini dəyişir, təzyiqin enməsi dayanır, hava rütubəti maksimuma çatana qədər artır. İsti cəbhə keçəndən sonra ciddi dəyişiliklər baş vermir. Soyuq cəbhənin keçməsi bir qədər başqa cür baş verir. Soyuq cəbhədən əvvəl hərarət cüzi dəyişir, təzyiq isə kəskin artır, ancaq rütubət və külək sürəti artdığından təzyiq kəskin enir. Soyuq cəbhə keçəndən sonra külək və hərarət dəyişməni da-

* Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
eminovramiz@mail.ru

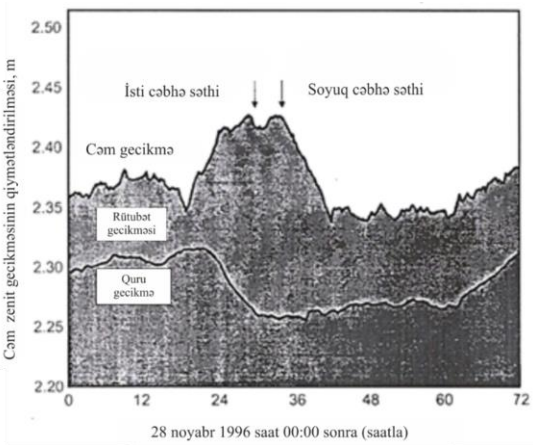
vam edir, rütubət sürətlə azalır, təzyiq isə tədricən artır. Atmosfer yağıntılarının baş verməsi daha çox yer planetinin orta en dairələrində müşahidə olunur. Misal üçün, iş [2]-də göstərildiyi kimi, qasırğalı havada İngiltərədə sutka ərzində 3-4 cəbhələrin keçməsi müşahidə olunur. Bütün bu hallar atmosfer cəbhələrin GPS sistemlər siqnallarının gecikməsinə etdiyi təsirinin öyrənilməsinin aktuallığını bir daha təsdiq edir.

İş [2]-də göstərildiyi kimi isti atmosfer cəbhəsinin gəlişi zamanı cəm troposfer zenit gecikməsi 11 saat ərzində 8 sm artır. Soyuq cəbhə keçdikdən sonra gecikmə həmin qiymət qədər 7 saat ərzində azalır. Bu zaman gecikmənin dəyişməsi aşağıdakı iki səbəbdən baş verir: rütubət gecikməsinin dəyişməsindən (su buxarlarının, buludların və yağışların hesabına görə);

- quru gecikmənin dəyişməsindən (atmosfer təzyiqin dəyişməsi hesabına görə).

Qeyd edək ki, cəbhələrin xüsusi qrupu da mövcuddur – onlar okklüziya cəbhələri adlanır və soyuqla isti cəbhələrin zamanla sıx ardıcıl keçməsi halında əmələ gəlir. İş [3]-də qeyd olunduğu kimi, onlar hava kütlələrinin qurulması ilə xarakterizə olunduğu üçün, GPS siqnallar gecikməsinin tədqiqi istiqamətində böyük maraq doğurmur.

Məsələnin qoyuluşu. GPS siqnallarının troposfer gecikməsinin qiymətləndirilməsi səmərəliliyi üçün soyuqla isti cəbhələrin ardıcıl keçməsi halında rütubətli və quru gecikmələrin zamanla dəyişməsi qrafikini nəzərdən keçirək (şək.) [2]. Şəkildə göründüyü kimi isti cəbhələrin keçməsi zamanı «quru gecikmənin» azalması, «rütubətli gecikmənin» isə kəskin artması müşahidə olunur. Bu halda soyuq cəbhənin keçməsi zamanı «rütubətli gecikmənin» kəskin azalması, «quru gecikmənin» isə sabitliyi müşahidə olunur.



Şək. Rütubətli və quru gecikmələrin atmosfer cəbhələrlə bağlı dəyişməsinin dinamikası

Məsələnin həlli. GPS siqnallar gecikməsinin təqribi ehtimalı qiymətinin tapılması üçün hesab edək ki, atmosfer cəbhələri keçərkən dəyişən yalnız rütubətli gecikmə olur. Anomal gecikməsi müəyyən *A* səviyyəsindən yüksək olarsa, elementar hadisələrin mühiti bu cür təyin edilə bilər:

$$\omega_A = \{\omega_1, \omega_2\},$$

burada ω_1 - soyuq cəbhənin gəlmə hadisəsidir; ω_2 - isti və soyuq cəbhələrin ardıcıl gəlmə hadisəsidir. Beləliklə, ω hadisəsinin baş vermə ehtimalı bu cür təyin olunacaq:

$$P(\omega) = P_1(\omega_1) + P_2(\omega_2).$$

Hesab edək ki, müşahidə zamanı n_1 sayda isti cəbhələr və n_2 sayda soyuq cəbhələr qeydə alınmış və bu zaman cəm troposfer gecikmə $A = 2{,}35$ *m* qiymətindən yüksək olmuşdur; bu halda $n_3 = n_1$ sayda isti və soyuq cəbhələrin ardıcıl gəlmə hadisələri qeydə alınmışdır.

Birinci yaxınlaşmada hesab etmək olar ki, tək soyuq cəbhənin keçməsi halı ilə müqayisədə, n_3 halda olmuş zaman gecikməsinin başvermə müddəti *k* dəfə çox olmuşdur. Beləliklə, *A* səviyyəsindən yuxarı ola bilən anomal gecikmənin başvermə ehtimalı bu cür hesablanacaq:

$$P(\omega) = \frac{(n_1 - n_2)\Delta t}{T_H} + \frac{n_1 \cdot k \cdot \Delta t}{T_H} = \frac{n_2 \cdot \Delta t + n_1 \cdot \Delta t(k-1)}{T_H}, \quad (1)$$

burada Δt - troposfer gecikmə *2,35 m* səviyyəni aşan müddət ərzində soyuq cəbhənin keçmə vaxtıdır. Əgər $k > 1$ olarsa, onda

$$P(\omega) \approx \frac{\Delta t n_1 \cdot (k-1)}{T_H}. \quad (2)$$

Əgər şəkildə göstərilmiş prosesi Qauss prosesi ilə approksimasiya etsək, onda aşağıdakı tənliyi almaq olar:

$$n_1 = N_a e\,x\,p\left[-\frac{(A-a)(A+a-2m_x)}{2\sigma_x^2}\right], \quad (3)$$

burada N_a – əvvəldən seçilmiş a səviyyəsindən yuxarı olan yağıntıların miqdarıdır; m_x, σ_x - prosesin riyazi gözləməsi və orta kvadratik kənarlaşmasıdır.

(2)-ci və (3)-cü düsturlar əsasında aşağıdakını alırıq:

$$P(\omega) \approx \frac{\Delta t\cdot(k-1)\cdot N_a}{T_n} e\,x\,p\left[-\frac{(A-a)(A+a-2m_x)}{2\sigma_x^2}\right]. \quad (4)$$

Beləliklə (4) düstur GPS sistemlərdə *A = 2,35 m* səviyyəsindən yuxarı ola bilən troposfer gecikməsinin baş verə biləcək ehtimalını təqribən təyin edir.

Qeyd etmək lazımdır ki, soyuq cəbhələrin tez gəlməsini proqnozlaşdırmaq üçün məsafədən təyinetmə vasitələrini tədqiqat obyektinin zonasından kənarda qurmaq tələb olunur. Bu onunla əlaqədardır ki, soyuq cəbhənin özünəməxsus meyletməsi nəticəsində onun gəlməsinin ilkin əlamətləri özünü aşağı yüksəkliklərdə biruzə verir.

Nəticə. Müəyyən olunmuşdur ki, GPS siqnallarının troposfer gecikməsinə gətirib çıxaran ən vacib amillərdən biri kimi qoşa təsir nəticəsində əmələ gələn atmosfer cəbhələri hesab oluna bilər. Onlar aşağıdakı qaydada gəlir: *isti cəbhənin gəlməsi*; *soyuq cəbhənin gəlməsi*.

Atmosfer cəbhələrin gəlməsi ilə əlaqədar troposfer gecikməsinin müəyyən səviyyədən artıq başverməsi ehtimalının hesablanması üçün düstur təklif edilib.

Atmosfer cəbhələrin gəlməsinin proqnozu üçün məsafədən zondlaşdırmanın texniki vasitələrinin qurulaşdırılması qaydaları müəyyən olunub.

Müəyyən olmuşdur ki, soyuq cəbhənin özünəməxsus meyletməsi nəticəsində onun gəlməsinin ilkin əlamətləri özünü aşağı yüksəkliklərdə biruzə verir.

REFERENCES

1. **Eminov R.Ə.** GPS baza stansiyalarına arxalanaraq enerji-rütubət kriterisinə görə geodinamik poliqon məntəqələrinin mövqe təyin edilməsinin optimallaşdırılması. "Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri", Cild 10, №3, s. 108-113
2. **Gregorius T., Blewitt G.** The effect of Water-Fronts on GPS measurements. GPS World, May, 1998, pp. 52-60
3. En. Wikipedia. Org/wiki/Weather_front

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ НА ЗАДЕРЖКУ GPS СИГНАЛОВ

Р.А. ЭМИНОВ

Проанализированы важные факторы, влияющие на тропосферную задержку сигналов GPS систем, которыми являются атмосферные фронты, возникающие под воздействием двух событий: *приход теплого фронта; приход холодного фронта.* Предлагается формула, определяющая вероятность появления тропосферной задержки выше определенного уровня, вызванной приходом атмосферных фронтов. Определен порядок установки технических средств дистанционного зондирования для прогнозирования прихода атмосферных фронтов.

Ключевые слова: *атмосферный фронт, GPS-оповещение, тропосферная задержка, дистанционное зондирование, прогнозирование.*

ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC FRONTS ON TROPOSPHERIC DELAY OF GPS SIGNALS

R.A. EMINOV

It is determined, that the most valuable effect on GPS signals tropospheric delay is rendered with a pair-wise sequential atmospheric fronts occurring is following series: *arrival of warm front; arrival of cold front.* The formula for calculation of probability of tropospheric delay over the fixed level due to the atmospheric fronts is suggested. The order for use of technical means of remote sensing for study and prediction of atmospheric fronts is determined.

Keywords: *atmospheric front, GPS notification, tropospheric delay, remote sensing, forecasting.*

Redaksiyaya daxil olub: *04.12.2018*
Tamamlama işlərindən sonra: *14.09.2019*
Nəşrə qəbul edilib: *23.09.2019*