

Analyse harmonique zonale des températures stratosphériques

Janvier–Février 1958

Par J. VAN MIEGHEM, P. DEFRISE et J. VAN ISACKER, *Institut Royal Météorologique de Belgique, Uccle-Bruzelles, Belgique*

(Manuscript received January 11, 1966)

ABSTRACT

The mean temperatures of the layers 50–25 mb and 25–10 mb for the two months January and February 1958 are investigated with the aid of zonal harmonic analysis, emphasis being laid on a warming (R) which occurs during the 3rd decade of January. This warming has an important zonal component (§ 3), even over the northern hemisphere as a whole (§ 2); besides it is connected with definite features in the evolution of the first two harmonics (§ 4).

1. Introduction

Nous envisageons l'évolution de la stratosphère, de 50 à 10 mb, au cours des mois de janvier et février 1958. Cette période a été étudiée du point de vue synoptique par SCHERHAG (1959). Notre but est de mettre en évidence certains caractères de grande échelle spatiale grâce à l'analyse harmonique zonale, en fixant plus particulièrement notre attention sur un réchauffement qui s'est produit, en gros, au cours de la 3e décennie de janvier et que, pour la facilité, nous désignerons par R .

Nous ne référons pas ici un exposé de la méthode classique d'analyse harmonique zonale (cf. par ex. [2]).

Nous avons déjà donné (VAN MIEGHEM, DEFRISE, VAN ISACKER, 1963) certains résultats concernant la circulation géostrophique à 50, 25 et 10 mb. Ici, nous examinons la température moyenne des deux couches 50–25 mb et 25–10 mb; ces températures moyennes (toujours exprimées en °K) sont déduites des différences de géopotential entre les niveaux qui limitent les couches. A un instant donné, chacune de ces températures T est fonction de la longitude λ et de la latitude φ ; l'analyse harmonique se traduit par la formule

$$T(\lambda, \varphi) = T_0 + T_1 + T_2 + \dots T_n + \dots$$

où T_0 est la moyenne zonale, fonction de φ , et $T_1, T_2, \dots T_n, \dots$ les harmoniques successifs

$$T_n = A_n \cos n\lambda + B_n \sin n\lambda = C_n \cos (n\lambda - \psi_n).$$

A_n, B_n, C_n et ψ_n sont fonction de φ ; C_n est l'amplitude et ψ_n la phase de l'harmonique T_n .

Celui-ci peut être représenté par un diagramme polaire [2] ou par une carte.

Nous verrons que le réchauffement R présente un aspect zonal (§ 3), qui se manifeste même sur l'hémisphère dans son ensemble (§ 2), et un autre aspect lié au comportement des harmoniques (§ 4).

2. Température moyenne de l'hémisphère nord (jusqu'à 10° de latitude)

La figure 1 représente la température moyenne de l'hémisphère nord, du pôle jusqu'à 10° de latitude, pour chacune des deux couches 50–25 mb, 25–10 mb. Elle met en évidence de façon frappante des variations de température à l'échelle hémisphérique, considérables et relativement rapides, dans la couche 25–10 mb; en particulier, le réchauffement (R) est d'environ 7°C entre le 22 et le 28 janvier (dont 6°C entre le 22 et le 24).

Les variations de température sont moins importantes dans la couche 50–25 mb.

Le flux méridien géostrophique de chaleur sensible à travers le parallèle de 10°N est très faible, dans chacune des deux couches; il n'est capable de produire que des variations de température négligeables sur l'ensemble de l'hémisphère (au nord de 10°). Les variations effectives de température à l'échelle hémisphérique ont donc essentiellement une autre origine.

3. Température moyenne par latitude

Les figures 2 et 3 donnent, respectivement pour les couches 50–25 et 25–10 mb, la tem-

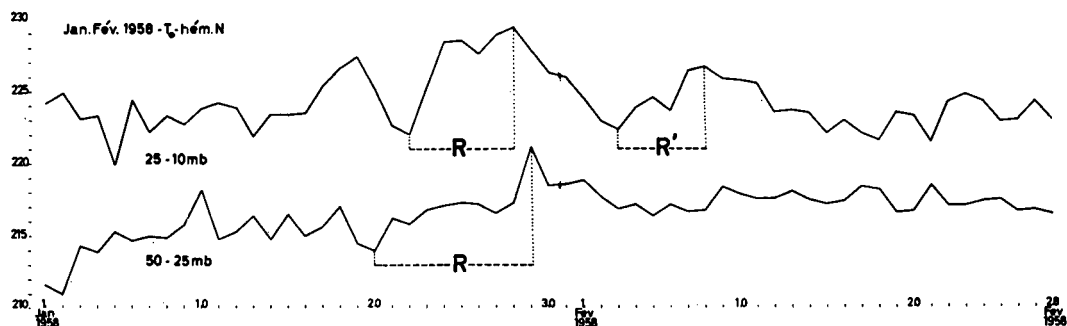


FIG. 1.

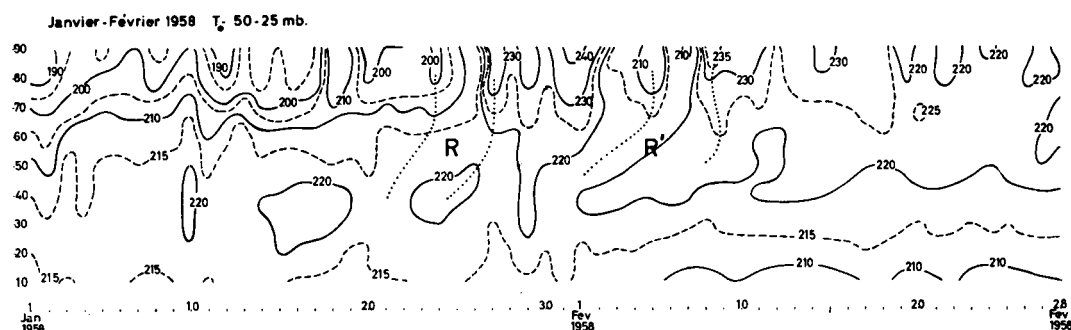


FIG. 2.

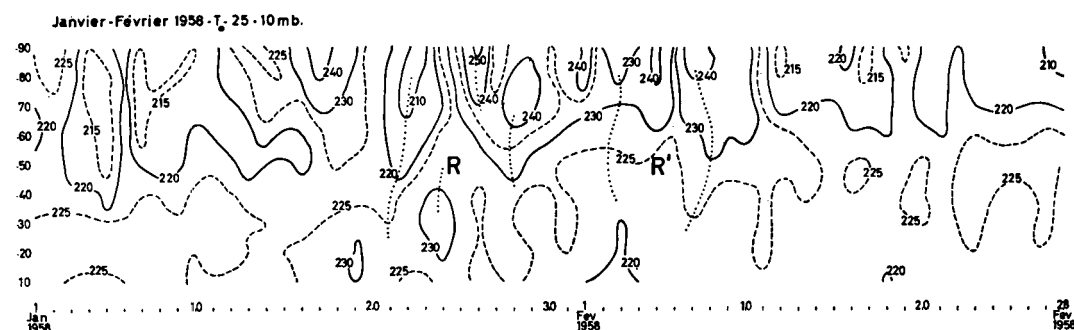


FIG. 3.

pérature moyenne zonale T_0 en fonction de la latitude. On y voit plusieurs variations importantes de température.

Dans la couche 25-10 mb (fig. 3), le réchauffement zonal R est de l'ordre de 30°C aux latitudes élevées (entre le 22 et le 26 janvier); il a débuté aux basses latitudes : la température à 30°N passe de 225°K le 21 à 232°K le 24; il s'accompagne d'un renversement du gradient méridien de température entre 30°N et le pôle. Le réchauffement R est tout aussi im-

portant dans la couche 50-25 mb (fig. 2) et présente des caractéristiques similaires.

Un autre réchauffement zonal (R') se manifeste nettement (du 5 au 8 février) aux latitudes élevées dans la couche 50-25 mb (fig. 2), mais n'est pas sensible sur l'ensemble de l'hémisphère (fig. 1); au contraire, dans la couche 25-10 mb, il est décelable à l'échelle hémisphérique (fig. 1), bien qu'il soit moins marqué aux latitudes élevées (fig. 3).

Nous avons comparé la variation effective de

température d'un jour à l'autre, telle qu'elle apparaît sur les figures 2 et 3, à celle qui est due à la convergence du flux de chaleur sensible (en sommant les contributions des harmoniques $n = 1, 2, 3$). Bien que, dans certains cas, les deux variations aient même signe et même ordre de grandeur, elles sont, pour l'ensemble de la période, peu corrélées. La variation de température due à la convergence du flux de chaleur sensible présente une certaine organisation zonale : dans la couche 50–25 mb, par exemple, la variation est faible de 25 à 35° de latitude N; elle est presque toujours négative de 45 à 55°N et presque toujours positive de 65 à 75°N.

4. Harmoniques d'ordres 1 et 2 de la température des couches

Nous n'envisagerons ici que les traits de plus grande échelle, correspondant aux harmoniques d'ordres 1 et 2 (T_1, T_2) de la température de chacune des couches. Les harmoniques suivants (d'ordre 3 et plus) sont, en règle générale, nettement moins importants; de plus, ils sont davantage affectés par l'incertitude de l'analyse des cartes.

Aux §§ 2 et 3, il s'agit de phénomènes zonaux, indépendants de la longitude; au contraire, celle-ci intervient dans les harmoniques.

Rappelons que l'harmonique T_1 définit, sur la carte, une crête ou axe chaud, joignant les points de chaque parallèle où la valeur T_1 est maximum, et un creux ou axe froid, symétrique de la

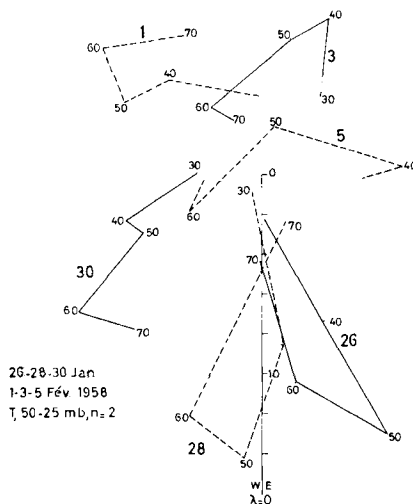


FIG. 4.

crête par rapport au pôle. L'harmonique T_2 possède deux crêtes, symétriques par rapport au pôle, séparées par deux creux.

Si on néglige des fluctuations de moindre importance et sans parler des basses latitudes où les deux harmoniques T_1, T_2 sont faibles, l'évolution au cours des deux mois peut se décrire de façon très schématisée en distinguant trois périodes :

I. Au cours d'une *première période* (jusqu'au 20 janvier), T_1 est généralement fort et assez stable dans les deux couches, avec la crête

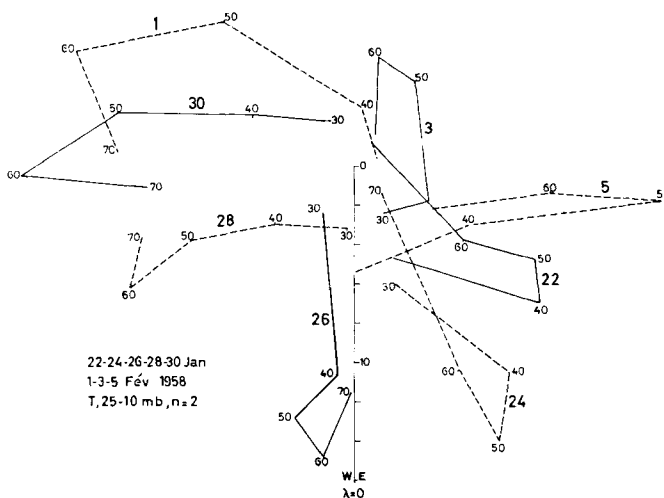


FIG. 5.

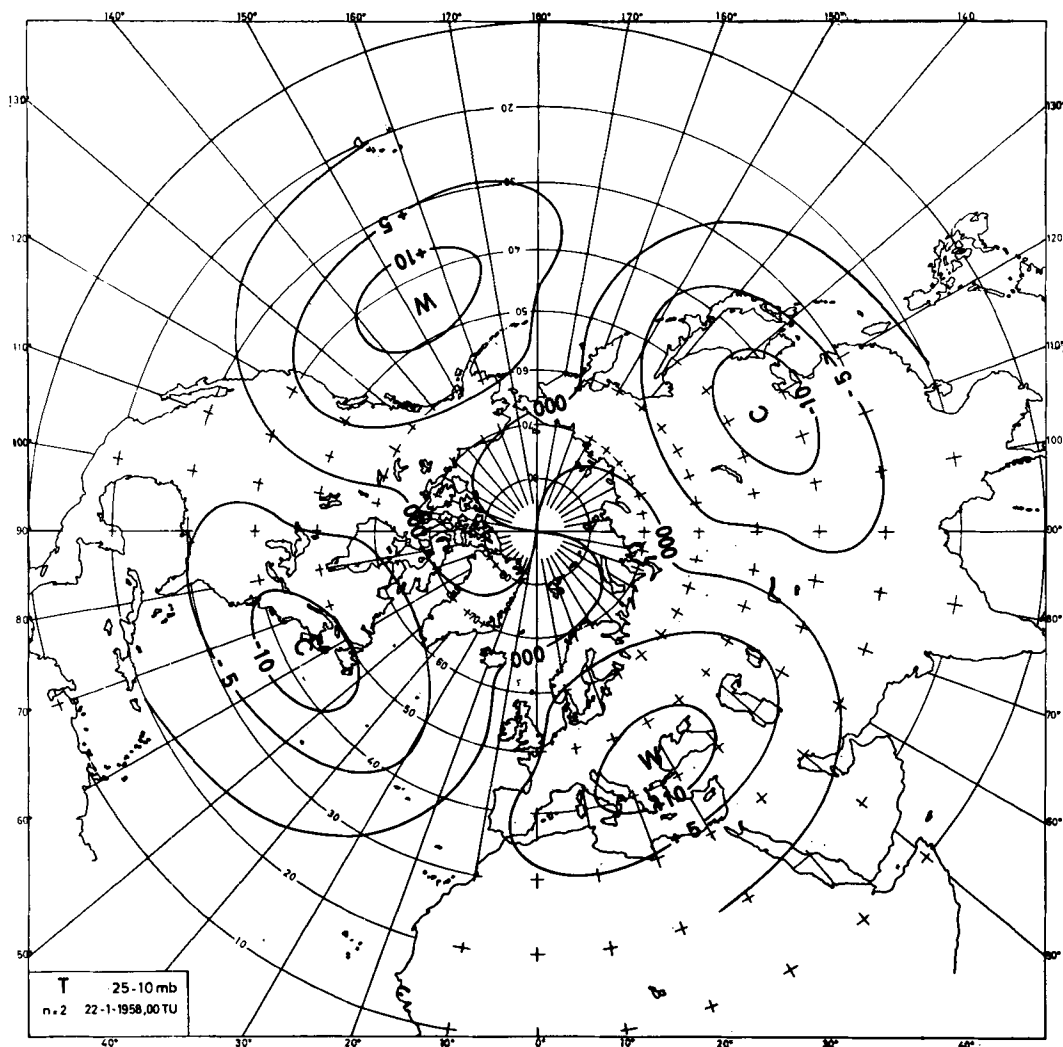


FIG. 6.

vers 180° de longitude (le centre chaud correspond à l'anticyclone des Aléoutiennes). Quant à T_2 , il est assez fort; il est de plus relativement stable dans la couche 50–25 mb (avec une crête oscillant autour du méridien de Greenwich) tandis que sa phase est plus variable dans la couche 25–10 mb.

II. La deuxième période, qui s'étend approximativement sur deux décades, est celle où se produisent les grandes variations de température; elle recouvre les réchauffements zonaux R et R' . Dans la couche 50–25 mb, T_1 diminue, sans grand changement de phase

tandis que, dans la couche 25–10 mb, T_1 reste fort mais subit (entre le 22 et 24 janvier) un changement brusque de phase, la crête passant approximativement de 180° à 60° E. Au début de la période, l'harmonique T_2 s'intensifie dans les deux couches; l'une des crêtes est située à ce moment un peu à l'est du méridien de Greenwich; ensuite se produit une rotation assez rapide vers l'ouest. Cette rotation apparaît sur les diagrammes polaires (fig. 4 et 5) et aussi, pour la couche 25–10 mb, par la comparaison des cartes du 22 et du 30 janvier (fig. 6 et 7): on voit en effet que l'un des centres chauds (W)

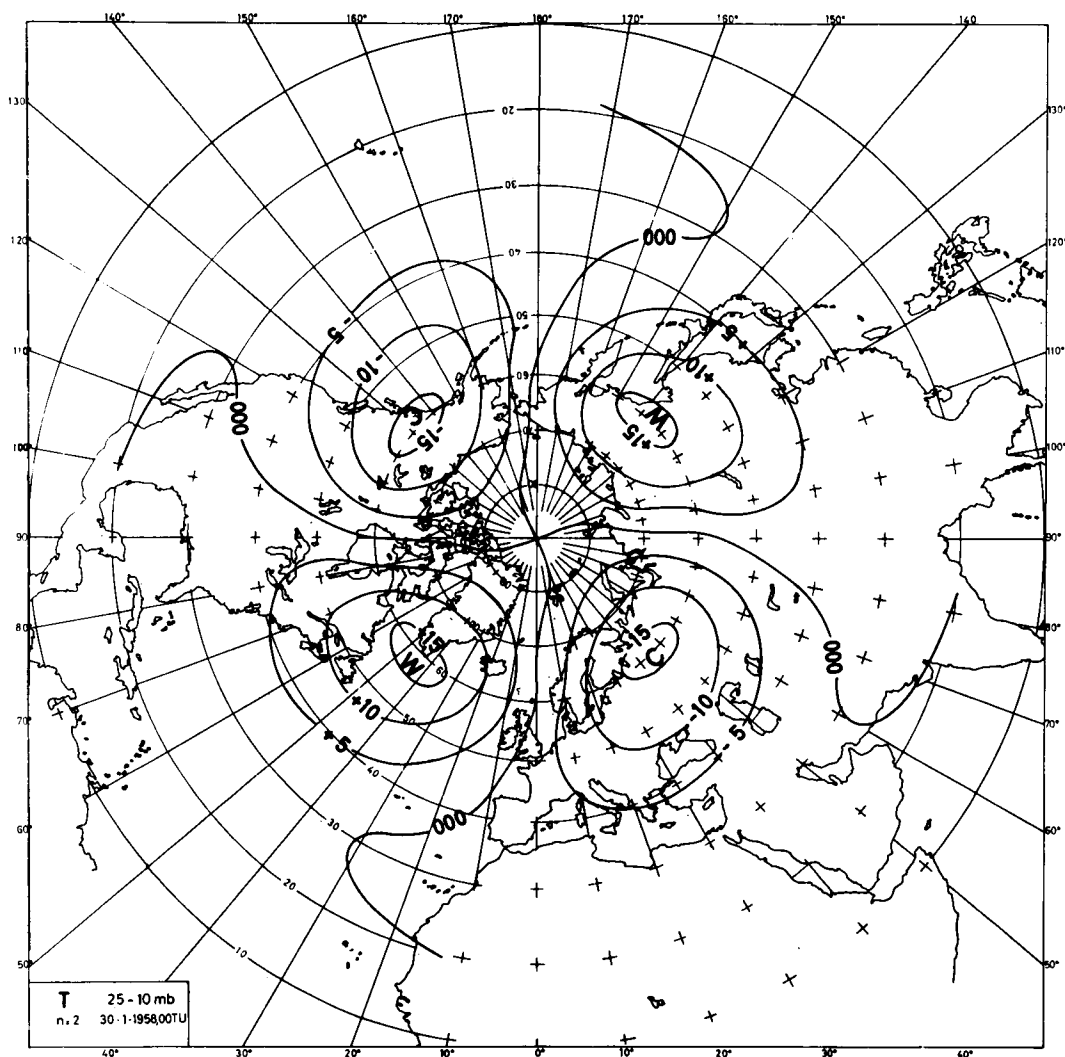


FIG. 7.

est passé des Balkans au sud du Groenland; il a donc subi, en même temps qu'une rotation vers l'ouest, un décalage vers les hautes latitudes.

III. Pendant la *troisième période*, les deux harmoniques T_1 et T_2 sont généralement faibles.

Nous allons reprendre la deuxième période, en vue d'analyser la contribution des harmoniques ($n=1$ et 2) aux variations de température.

Enonçons d'abord quelques règles générales. Si on suit l'évolution de l'harmonique $n=1$ au cours du temps, sur un parallèle donné, 1°)

une augmentation d'amplitude (sans variation appréciable de phase) produit une région de réchauffement axée sur la crête et une région de refroidissement axée sur le creux; une diminution d'amplitude produit l'effet inverse; 2°) une variation de phase (sans variation appréciable d'amplitude) engendre une rotation de la crête (chaude) et du creux (froid); il en résulte une région de réchauffement et une région de refroidissement, symétrique de la première par rapport au pôle.

Pour l'harmonique $n=2$, des considérations analogues s'appliquent, mais il y a chaque fois

deux régions de réchauffement et de refroidissement au lieu d'une, étant donné qu'il y a deux crêtes et deux creux. Si on combine les effets des deux harmoniques $n = 1$ et 2, il faut évidemment tenir compte de la différence de phase entre les deux.

On observe que, dans la couche 50–25 mb, du 20 au 26 janvier, 1°) l'amplitude de T_1 diminue sensiblement, tandis que la phase varie peu; il en résulte un réchauffement centré sur le creux de T_1 ; 2°) T_2 s'intensifie nettement, sans grande variation de phase; il en résulte deux régions de réchauffement centrées sur chacune des crêtes de T_2 . Or, l'une des crêtes de T_2 est très voisine du creux de T_1 , un peu à l'est du méridien de Greenwich; dans cette région, les deux réchauffements, dus à T_1 et à T_2 , s'ajoutent donc; combinés avec le réchauffement zonal (§ 3, fig. 2), ils donnent un réchauffement total considérable.

A partir du 26 janvier, à part les variations de T_0 , c'est la rotation de T_2 (fig. 4; 6 et 7) qui joue le rôle essentiel; il en résulte, pour la variation de température aux latitudes 50–70°N, une configuration présentant deux noyaux de réchauffement et deux noyaux de refroidissement; cette configuration subit également une rotation vers l'ouest.

La rotation rétrograde des deux crêtes de T_2 correspond à celle des deux centres chauds sur la figure 33 de [1]; le réchauffement et son évolution, telle que nous venons de la décrire, sont à rapprocher des figures 7, 8, 24 de [1].

Le comportement de T_2 est similaire dans les deux couches, mais, comme nous l'avons vu plus haut, il n'en est pas de même de T_1 . Dans la couche 25–10 mb, c'est un changement brusque de phase de T_1 qui se combine avec l'intensification de T_2 pour donner naissance au réchauffement R .

En résumé, mise à part la composante zonale (due aux variations de T_0), 1°) le réchauffement R comporte, au début, une part liée à l'intensification de T_2 (dans les deux couches) et une autre qui est due à l'affaiblissement de T_1 dans la couche 50–25 mb, et à un changement de phase de T_1 dans la couche 25–10 mb; 2°) c'est la rotation de T_2 qui joue ensuite le rôle primordial.

Remerciements

Cette étude a été réalisée à l'aide des cartes perforées préparées par l'Institut für Meteorologie und Geophysik de l'Université libre de Berlin.

RÉFÉRENCES

1. SCHERHAG, R., 1959. Über die Luftdruck-, Temperatur- und Windschwankungen in der Stratosphäre. *Ak. Wiss. Lit. Mainz, Abh. Math.-Naturwiss. Kl.*, nr. 15.
2. VAN MIEGHEM J., DEFRISE P., VAN ISACKER J., 1963. Utilisation du diagramme polaire pour la représentation des harmoniques zonaux de la circulation atmosphérique générale. *Beitr. zur Phys. Atm.*, 26, 1/2, pp. 24–38.
3. DEFRISE P., VAN ISACKER J., VAN MIEGHEM J., 1963. Some preliminary results of zonal harmonic analysis of 50, 25 and 10 mb contours for January and February 1958. *IUGG (IAMAP), Berkeley 1963, Proc., Publ. IAMAP No. 13*, pp. 99–100.

ЗОНАЛЬНЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР СТРАТОСФЕРЫ

С помощью зонального гармонического анализа изучаются средние температуры слоев 50–25 мб и 25–10 мб для двух месяцев — января и февраля 1958 г., причем особое внимание обращается на потепление, которое имело место в течение 3-й декады января.

Это потепление имеет значительную зональную компоненту (§ 3) даже над северным полушарием, рассматриваемым, как целое (§ 2); кроме того, оно обуславливает определенные особенности эволюции двух первых гармоник.