

**ВРЕМЕНСКЕ ПРИЛИКЕ И ПРОГНОЗА ВРЕМЕНА НА ПЛАНЕТАМА
СУНЧЕВОГ СИСТЕМА НА ОСНОВУ ПОНАШАЊА РОСБИЈЕВИХ ТАЛАСА**

МИЛИВОЈ Б. ГАВРИЛОВ^{1*}, ЛАЗАР ЛАЗИЋ¹, ЈАСМИНА ЂОРЂЕВИЋ¹

*¹Универзитет у Новом Саду – ПМФ, Департман за географију, туризам и хотелијерство,
Трг Доситеја Обрадовића 3, Нови Сад, Србија*

Сажетак: Од свих процеса у атмосферама планета Сунчевог система, овде ће се пажња посветити само водећој циркулацији планетарних или глобалних размера, познатој као Росбијеви таласи. Ови таласи се јављају у свим ротирајућим флуидима који се релативно крећу у односу на систем ротације. Росбијеви таласи доминантно утичу на тзв. глобално време. На основу познавања Росбијеви таласа направљена је приближна анализа временских прилика на планетама Сунчевог система. Такође, ова разматрања могу послужити и као увод у прогнозу времена на планетама.

Кључне речи: Росбијеви таласи, планете Сунчевог система, стање и прогноза времена

Увод

Атмосфера Земље је један од најсложенијих неживих физичких система. Она се налази под утицајем скоро свих физичких утицаја, груписаних у астрономске, геолошке, биолошке и друге. Свака група утицаја ствара у атмосфери један или више атмосферских процеса или циркулација. У вези са тим, метеоролошко време је резултујући утицај свих циркулација који делују у атмосфери до неколико дана, а клима је средње стање времена у периодима дужим од неколико дана.

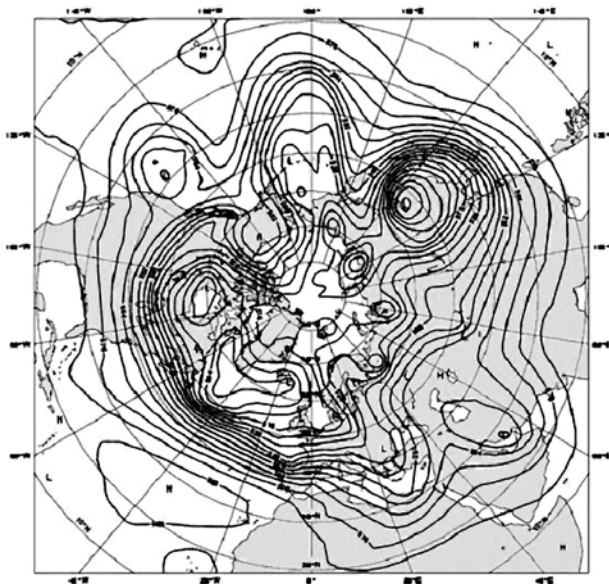
Од свих процеса у атмосфери, овде ће се посебна пажња посветити водећој циркулацији планетарних или глобалних размера, познатој као Росбијеви таласи. Ови таласи доминантно утичу на тзв. глобално време. Росбијеви таласи се јављају у свим ротирајућим флуидима који се релативно крећу у односу на систем ротације. На Земљи се ови таласи јављају на размерама кретања већим од око 200 km.

У литератури (нпр. Hardy 2006., Дуцић и сарадници 2005., Дуцић и Радовановић 2004.) има доста радова о времену и клими али у њима нису проучавани утицаји Росбијеви таласа на временске прилике и прогнозу времена на планетама Сунчевог система. Полазећи од особина Росбијеви таласа, (Gavrilov and Prodanov, 2008), у наставку ће се дати одговор на питање: „Да ли боље познавање Росбијеви таласа омогућава и боље познавања временских прилика и прогнозу времена на другим планетама Сунчевог система“.

Росбијеви таласи на Земљи

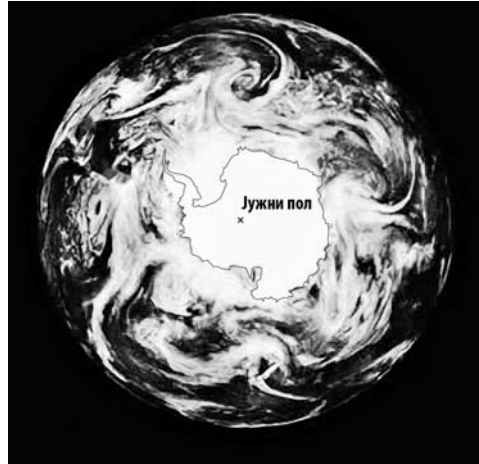
Да би се илустровало настајање Росбијеви таласа претпоставиће се једноставан случај. Нека се на Северној хемисфери ваздух креће праволинијски и непромењеном брзином са југозапада ка североистоку. Ваздух из посматране области,

већих периферних брзина Земље, одлази више на север у област мањих периферних брзина. Под утицајем ове разлике у периферним брзинама ваздух скреће удесно и у једном тренутку струјање постане зонално (од запада ка исток). Сада, удесно делујућа скретање наставља да повлачи ваздух ка југу. Он наставља да се креће са северо-запада ка југо-истоку. Овакво кретање представља једну амплитуду (гребен) Росбијевог таласа, а смер кретања је као код казаљке на сату. Затим се одвија обрнут процес и образује се супротно усмерена амплитуда (долина) у којој је кретање у смеру обрнутом од кретања казаљке на сату. Ове две амплитуде чине једну таласну дужину Росбијевог таласа. Она варира од неколико стотина до неколико хиљада километара. Слично је и на Јужној хемисфери, а добијено струјање стоји као лик предмета у огледалу у односу на Северну хемисферу.



Слика 1. - Стање атмосфере приказано изохипсама на изобарској површини од 500 hPa на дан 24.01.09. године у 00 UTC. Генерално струјање ваздуха је са запада на исток и паралелно изохипсама уколико је ближе узастопних изохипси већа.

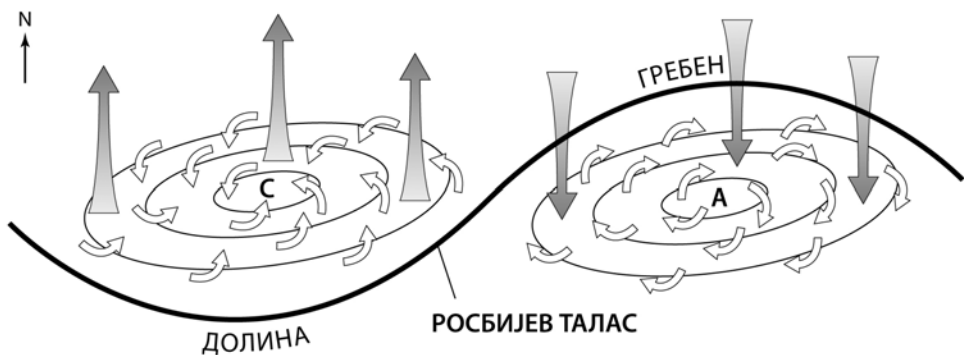
У вишим слојевима атмосфере се свакодневно осматрају таласна кружна кретања око полова Земље. На слици 1 је приказана сасвим случајно одабрана хемисферска метеоролошка карта изохипси (линије истих висина на изобарској површини од 500 hPa), где су јасно видљиве таласне форме изохипси. Типичне размере оваквих таласа износе неколико хиљада километера, како у меридијалном (север-југ), тако и у зоналном (запад-исток) правцу. Росбијеви таласи имају доминантни утицај на стварање приказаног таласања. Али, ради бољег разумевања треба нагласити да су у приказана струјања уграђена и друга таласна кретања и процеси. Слична слика таласања виших слојева атмосфере су повремено јасно видљива и из Космоса посредством облачних трагова који прате таласање ваздуха, слика 2.



Слика 2. - Из Космоса видљиви облачни трагови јасне таласне структуре добијене од Росбијевих таласа који круже око Јужног пола.

Време

Росбијеви таласи, дакле, утичу на глобално време. У њиховим долинама се стварају (вантропски) циклони (С), а гребени постају изворишта антициклона (А), слика 3. Као што се види на слици 3, у приземним слојевима атмосфере у циклонима услед деловања силе трења кружно кретање скреће ка центру (конвергенција), што доводи до кретање ваздуха нагоре и његовог хлађења. Ако у таквим приликама постоји довољно водене паре стварају се капи воде (кондензација) и кристали леда (депозиције), па настају облаци, а повремено и падавине. Супротно, због кружног кретања ваздуха од центра ка периферији (дивергенција) у антициклонима се ствара кретање надолу, што доводи до загревања ваздуха и спречавање настанка облака.



Слика 3. - Приземно струјање ваздуха у хоризонталном и вертикалном правцу у долини Росбијевог таласа, као месту најчешћег стварања циклона (лево) и гребену таласа, као месту настанка антициклона (десно) на Северној хемисфери.

Из претходног излагања се могу извући нека општа правила о времену. У долинама Росбијевих таласа настају облаци и падавине, зими снег, а лети киша, док се

у гребенима ствара ведро време, лети изузетно топло, а зими претерано хладно. У свим овим процесима учествују и друга кретања, али слику о времену великих размера највише формирају Росбијеви таласи.

Историјат

Истраживање Росбијевих таласа и њихов утицај на глобално време послужили су као основа за развој научног метода за прогнозу времена. Идеја да се истраживање атмосфере, а пре свега налажење будућих атмосферских процеса може обављати решавањем математичких једначина које описују поједине или све циркулације сматра се да потиче од Vilhelma Bjerknesa, (1904).

Први успешан покушај остваривања Бјеркнесове идеје учињен је 1950. године. Успехом је остварен нумеричким решавањем једноставног модела атмосфере заснованог на баротропној једначини вртљожности почевши од осматрених/измерених почетних услова (Charney et al., 1950). У основи, то је једначина која описује управо простирање Росбијеве таласа. Како је водећу улогу у дефиницији овог модела имао познати метеоролог Carl-Gustaf Rossby, ови таласи су по њему добили име, (Rossby and collaborators, 1939). Од тих пионирских дана у описивање атмосфере су укључене и остале познате циркулације. Све то заједно је допринело да се данас праве добре временске прогнозе до неколико дана, а симулације климе дуже од месец дана се сматрају прихватљивим. При томе, улога и значај Росбијевих таласа нису умањени, већ напротив, порастао је њихов историјски значај, а физичка улога је у најмањем остала иста.

Росбијеви таласи на планетама Сунчевог система

Из претходних излагања било је могуће уочити да су Росбијеви таласи универзалан природни феномен, присутан и у Космосу. Да се подсетимо, ови таласи постоје у свим приликама када су присутни:

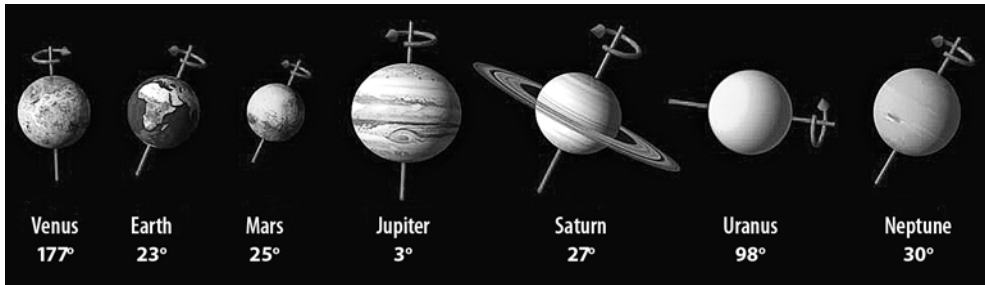
1. ротација
2. релативно кретање и
3. флуидне супстанце.

У наставку текста биће описани главни резултати истраживања Росбијевих таласа у атмосферама планета Сунчевог система, (Gavrilov and Prodanov, 2008). За наведено истраживање је коришћен физички модел универзалне хомогене атмосфере описан тзв. линеаризованим системом једначина атмосфере. Решавањем једначина и узимањем у обзир познатих прилика које владају на планетама у погледу висине атмосфере, гравитације, ротације и осталог, добијене основне главне особине Росбијевих таласа на планетама Сунчевог система. Неки од резултата ће овде бити приказани и анализирани.

Време на планетама

Росбијеви таласи се простиру на запад на Земљи, Марсу, Јупитеру, Сатурну, Урану и Нептуну или на планетама које ротирају са запада на исток, слика 4. На Венери, која ротира супротно од осталих планета, од истока на запад, слика 4, Росбијеви таласи се простиру на исток.

Разматрање прилика на Меркуру и Плутону је изостављено. Као што је познато, Плутон је одавно изгубио статус планете, а Меркур нема атмосферу.



Слика 4. - Планете Сунчевог система са означеним смером ротације.

Брзине Росбијевих таласа су на планетама посматране у односу на брзину истих на Земљи, (Gavrilov and Prodanov, 2008). Установљено је да су брзине Росбијевих таласа на Јупитеру, Сатурну, Нептуну и Урану мање него на Земљи. На овим планетама је смена долина и гребена Росбијевих таласа или циклона и антициклона спорија него на Земљи. То указују да ће се на поменутиим планетама време мењати спорије него на Земљи. На Марсу су брзине Росбијевих таласа веће него на Земљи. То указује да ће се тамо време мењати брже него на Земљи. Због ротација ових планета са запада на исток, у свим случајевима ће преовлађујуће временске промене, као и на Земљи, долазити са запада.

На Венери се Росбијеви таласи крећу у супротном смеру него на Земљи, тј. на исток, уместо на запад. У вези са тим, на Венери ће преовлађујуће временске промене долазити са истока.

Росбијеви таласи су видљиви из Космоса не само на Земљи, као што то показује слика 3, већ су видљиви и на другим планетама. На пример, на слици 4 увек видљиве таласне структуре на Јупитеру своје присуство делом дугују и Росбијевим таласима.

Закључак

Као што је већ написано, Росбијеви таласи имају утицај на глобално време. Такође, имплицитно они одређују регионално и локално време. Речено је да се у њиховим долинама стварају циклони, облачно и падавинско време, док се у гребенима стварају антициклони и ведро време. Ако се оваква, врло поједностављена интерпретација времена употребом само Росбијевих таласа, у пуној аналогiji примени на планете Сунчевог система, добиће се врло поједностављене интерпретације времена. Оне ће често имати малу практичну вредности, али би за ову прилику послужиле као пример (условног) потврдног одговора на питање из увода: „Да ли боље познавање Росбијевих таласа омогућава и боље познавања временских прилика и прогнозу времена на другим планетама Сунчевог система“. Треба јасно нагласити да се за овакве интерпретације времена, ипак, морају користити сложеније једначине атмосфере од оних наведених у раду (Gavrilov and Prodanov, 2008). Начелно, не треба очекивати принципијелне потешкоће да се такве сложеније једначине реше. Али, већи би се проблеми јавили у делу око задавање почетних услова. Они су зависни од до сада сакупљених информација о реалном стању атмосфера на планетама.

Практичне интерпретације времена на планетама Сунчевог система би могле да се остваре, тек:

1. употребом модела базираног на комплексном систему једначина атмосфере, које би, поред Росбијевих таласа, садржале и преостале церкулације и
2. узимањем у обзир оперативно измерених почетних услова на планетама.

Под наведеним претпоставкама одговор би био (без условно) потврдан, али сада на мало проширено питање „Да ли ће се бољим познавањем Розбијевих таласа, **осталих циркулација и других услова** моћи да прогнозирају временске прилике и на другим планетама Сунчевог система?“.

Литература

- Bjerknes, V. (1904). Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. *Meteorologische Zeitschrift*, Band 21, 1-7.
- Charney, J. G., FjØrtoft, R. and Von Neuman, J., (1950). Numerical integration of the barotropic vorticity equation. *Tellus*, Vol 2, No. 4, 237-254.
- Gavrilov, M. B. and A. D. Prodanov, (2008). The Characteristics of Rossby Waves Frequencies on Planets of Solar System, *Planetary and Space Science*, Vol. 56, 1480-1484.
- Hardy T. John, (2006). *Climate Change, Causes, Effects, and Solutions*. Wilay, 247.
- Дуцић В., Радовановић, М., и Миловановић Б., (2005). Колебање температуре ваздуха на простору Старе планине у инструменталном периоду. *Гласник српског географског друштва*, LXXXV, (2), 23-28.
- Радовановић, М., Дуцић В., (2004). Колебање температуре ваздуха у Србији у другој половини XX века. *Гласник српског географског друштва*, LXXXIV, (1) 19-28.
- Rossby and collaborators, (1939). Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. *Journal of Marine Research*, Vol. 2, No. 1, 38-55.

WEATHER CONDITIONS AND WEATHER FORECAST ON THE PLANETS OF THE SOLAR SYSTEM BASED ON THE BEHAVIOUR OF ROSSBY WAVES

MILIVOJ B. GAVRILOV^{1*}, LAZAR LAZIĆ¹, JASMINA ĐORĐEVIĆ¹

¹*University of Novi Sad - Faculty of Sciences and mathematics, Department of geography, tourism and hotel management, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad, Serbia*

Abstract: Out of all atmospheric processes on the planets of the Solar System, special attention will be devoted here to leading circulation of planetary or global scales, known as Rossby waves. These waves occur in all rotating fluids that have relative movement to the rotation system. Rossby waves exert dominant influence on so-called global weather. Based on the knowledge of some properties of Rossby waves are made approximate analysis of weather conditions on the planets of the Solar System. Also, these considerations can serve as an introduction to weather forecasting on the planet.

Key words: Rossby waves, planets of the Solar System, condition and weather forecast

Introduction

Atmosphere of the Earth is one of the most complex nonliving physical systems. It is under the influence of almost all physical influences grouped in astronomic, geological, biological and others. Each group of influences creates in the atmosphere one or several atmospheric processes or circulations. In relation to that, meteorological weather is the resulting influence of all circulations which are active in the atmosphere up to several days, and climate is medium weather condition in the periods longer than several days.

Out of all atmospheric processes, special attention will be devoted here to leading circulation of planetary or global scales, known as Rossby waves. These waves exert dominant influence on so-called global weather. Rossby waves occur in all rotating fluids that have relative movement to the rotation system. On the Earth, these waves occur on movement scales larger than around 200 km.

As is known, the literature (e.g. Hardy 2006, Ducić, et al 2005, Ducić and Radovanović 2004) has many papers on weather and climate, but they have not studied effects of Rossby waves on the weather and climate of the planets of the Solar System. On the basis of the characteristics of Rossby waves, (Gavrilov and Prodanov, 2008), the answer to the following question will be obtained below: „Would better knowledge of Rossby waves also make possible better knowledge of weather conditions and weather forecast on other planets of the Solar System“.

Figure 1. - Atmospheric condition shown by isohypses on isobaric surface of 500 hPa on 24 January 2009 at 00 UTC. General air circulation is from the west to the east and parallel to isohypses, increasing with the increase of the closeness of successive isohypses

Rossby waves on the Earth

In order to illustrate the creation of Rossby waves, a simple case will be presumed. Let the air on the Northern hemisphere move in straight line and unchangeable speed from the southwest to northeast. The air from the observed area, there where the speeds of the Earth are higher, moves more towards the north, to the area of lesser peripheral speeds.

*e-mail: gavrilov@eunet.rs

Under the influence of this difference in peripheral speeds, the air turns to the right and at some moment the circulation becomes zonal (from the west to the east). Now, the turning that acts toward the right, continues to draw the air towards the south. It continues to move from the north-west towards the south-east. Such movement represents one amplitude (ridge) of Rossby wave and direction of the movement is clockwise. Then the opposite process is carried out and the amplitude (trough) of opposite direction is formed where the movement is opposite to clockwise. These two amplitudes form one wavelength of Rossby wave. It varies from several hundred to several thousand kilometers. It is also similar in the Southern hemisphere and obtained circulation is positioned as mirror reflection of the circulation in the Northern hemisphere.

Figure 2. - Cloud traces visible from the space of clear wave structure obtained from Rossby waves that circulate around the South Pole

In higher layers of the atmosphere, wave circulations around the Earth's Poles are observed everyday. Figure 1 shows randomly chosen hemispheric meteorological charts of isohypses (same height lines on isobaric surface of 500 hPa), where the wave forms of isohypses are easily visible. Typical scales of such waves amount to several thousand kilometers both in meridional (north-south) and zonal (west-east) direction. Rossby waves have a dominant influence on the creation of shown wave movement. But, for the purpose of better understanding, it should be pointed out that shown circulation also contains other wave movements and processes. Occasionally, similar wave circulations of higher atmospheric layers are also clearly visible from the space by the means of cloud traces that follow wave circulation of the air, Figure 2.

Weather

Thus, Rossby waves influence global weather. In their troughs, (non-tropic) cyclones (C) form and ridges become the sources of anticyclones (A), Figure 3. As seen in Figure 3, in surface atmospheric layers, circular movement in the cyclones turn towards the center (convergence) due to the friction force, and that leads to the air movement upwards and its cooling. If there is sufficient water vapour under such conditions, water drops are created (condensation) and ice crystals (deposition), thus, the clouds are created and occasionally precipitation, too.

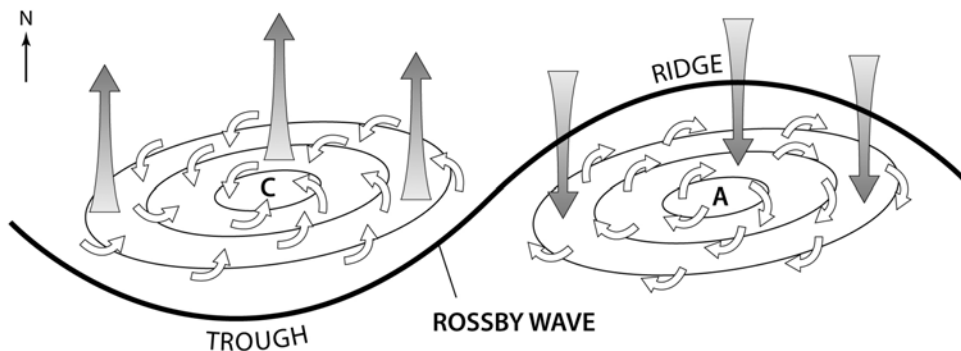


Figure 3. - Surface air circulation in horizontal and vertical direction in Rossby wave trough as a place of the most frequent creation of cyclone (left) and wave ridge, as a place of the creation of anticyclone (right) in the Northern hemisphere

Some general weather rules can be derived from previous presentation. Clouds and precipitation, snow in winter and rain in summer, are created in troughs of Rossby waves, and clear weather, exceptionally hot in summer and exceptionally cold in winter, is created in the ridges. Other movements also participate in all these processes, but the image of the large scale weather is most influenced by Rossby waves.

Background

The research of Rossby waves and their influence on global weather served as a basis for the development of scientific method for weather forecasting. It is thought that Vilhelm Bjerknes (1904) is the author of the idea that atmospheric research, and primarily discovery of future atmospheric processes, can be carried out by solving mathematical equations that describe particular or all circulations.

First successful trial of the application of the idea of Bjerknes was made in 1950. It was successfully completed by numerical solving of a simple atmospheric model based on barotropic vorticity equation starting with the observed/measured initial conditions. Basically, it is the equation that actually describes the expansion of Rossby waves (Charney et al., 1950). Since a famous meteorologist, Carl-Gustaf Rossby had a leading role in the defining of this model, the waves were named after him, (Rossby and collaborators, 1939). Since these pioneering days, other known circulations were also included in the description of the atmosphere. It jointly contributed to good weather forecast that are now made up to several days ahead, and climate simulations longer than a month are considered acceptable. In all this, the role and significance of Rossby waves are not decreased, but contrary, their historic significance is increased and their physical role is the same at least.

Rossby waves on the planets of the Solar System

It is possible to note from previous presentation that Rossby waves are universal natural phenomenon, also present in the space. Let us be reminded that these waves exist in all the conditions when are present:

1. rotation and
2. relative circulation of
3. fluid substance.

Principal results of the research of Rossby wave in the atmospheres of the planets of the Solar System, (Gavrilov and Prodanov, 2008), will be described below. Physical model of universal homogeneous atmosphere described by so-called linearized equation system of the atmosphere was used for mentioned research. Basic principal characteristics of Rossby waves on the planets of the Solar System were obtained by solving the equations and taking into consideration known conditions existing on the planets regarding the height of the atmosphere, gravitation, rotation and the like. Some of the results will be presented and analyzed here.

Weather on planets

Rossby waves expand towards the west on the Earth, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune or on the planets that rotate from west to east, Figure 4. On Venus, that rotates opposite to other planets, from east to west, Figure 4, Rossby waves expand towards the east.

Figure 4. - The planets of the Solar System indicating the direction of rotation.

Consideration of the conditions of Mercury and Pluton is omitted. As it is known, Pluton has recently lost the status of the planet and Mercury does not have atmosphere.

The speeds of Rossby waves on the planets were observed in relation to their speed on the Earth, (Gavrilov and Prodanov, 2008). It was found that the speeds of Rossby waves on Jupiter, Saturn, Neptune and Uranus were lower than on the Earth. On these planets, the succession of troughs and ridges of Rossby waves, or cyclones and anticyclones, is slower than on the Earth. On Mars, the speeds of Rossby waves are higher than on the Earth. It indicates that weather will there change faster than on the Earth. Due to the rotation of these planets from the west to the east, in all cases prevailing weather changes will come from the west, as on the Earth.

On Venus, Rossby waves move in the opposite direction to their direction on the Earth, that is, towards the east instead of the west. With reference to that, prevailing weather on Venus comes from the east.

Looking from the space, Rossby waves are not only visible on the Earth, as shown in Figure 3, but they are also visible on other planets. For example, in Figure 4, always visible wave structure on Jupiter partly owes its presence to Rossby waves.

Conclusion

As already stated, Rossby waves exert influence on global weather. Also, they exert indirect influence on regional and local weather. It is said that cyclones, cloudy and precipitation weather are created in their troughs, while anticyclones and clear weather in ridges. If such, very simplified weather interpretation by using only Rossby waves, is applied in full analogy on the Solar System, very simplified weather interpretations will be obtained. They will often have small practical value, but for this occasion they could serve as an example (conditionally) of affirmative answer to the question from the introduction: „Would better knowledge of Rossby waves also make possible better knowledge of weather conditions and weather forecast on other planets of the Solar System“. It should be clearly pointed out that such weather interpretations nevertheless require the use of more complex atmospheric equations than the ones mentioned in the paper (Gavrilov and Prodanov, 2008). Generally, principled difficulties should not be expected in solving such more complex equations. But, greater problems would occur in the part of setting initial conditions. They are dependent on the information so far collected on real condition of the atmosphere on the planets.

Practical interpretation of the weather on the planets of the Solar System could be realized only by:

1. the use of the model based on complex equation system of the atmosphere that would contain, besides Rossby waves, remaining circulations and
2. taking into consideration operatively measured initial conditions on the planets.

Under the mentioned presumptions, the answer would be (unconditionally) be affirmative, but now on slightly expanded question „Would better knowledge of Rossby waves, **other circulations and other conditions**, also make possible forecasting of weather conditions on other planets of the Solar System“.

References

See References on page 140