

## ПЛАНЕТНЫЙ МОНИТОРИНГ – ПУТЬ К ВЫЯСНЕНИЮ ПРИЧИН ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В.Г. Тейфель

*Астрофизический институт им.В.Г.Фесенкова, г. Алматы, [tejf@hotmail.com](mailto:tejf@hotmail.com)*

Кратко изложены проблемы и задачи планетного мониторинга - регулярных наблюдений и исследований процессов, происходящих в атмосферах планет. Главная цель их состоит в оценке роли космических факторов в глобальных климатических изменениях, как на других планетах, так и на Земле.

Проблема изменения климата Земли является сейчас одной из основных в комплексе проблем не слишком отдаленного будущего для всего человечества. На вопрос о том, что ожидает нас в последующие десятилетия и столетия – глобальное потепление или глобальное похолодание, пока нет однозначного ответа. В этом нет ничего удивительного, поскольку на изменения такого рода оказывает влияние довольно значительная совокупность разных факторов – от космически и природных до антропогенных. Суммарный эффект от всех видов воздействия на долговременные изменения, которые мы и определяем как климатические, может быть трудно предсказуемым. Поэтому желательно получить возможность хотя бы отчасти выделить и изучить роль каждого из них. Понятно, что главное слово здесь должно принадлежать климатологам, изучающим влияние природных и техногенных факторов. Но роль космических факторов тоже нельзя сбрасывать со счетов, и в этом все большее значение приобретают исследования процессов, происходящих в нашей солнечной системе. Прежде всего, конечно, это изучение того, что происходит на самом Солнце, как главном источнике энергии и бурной электромагнитной активности. Воздействию солнечной активности, как и других космических факторов, пока еще во многом не ясных, подвержена не только наша Земля, но и все другие планеты, особенно обладающие, как и наша, достаточно мощными и динамически нестабильными атмосферами.

Именно изучение нестационарных процессов на планетах открывает возможность разделения и оценки роли космических и чисто земных факторов, обуславливающих ход изменения климата на Земле. Необходимо отметить сразу, что задача эта далеко не простая и не может быть решена «с наскоку» без получения и анализа длительных рядов наблюдательных оценок состояния каждой из планет, без сопоставления и выделения синхронных процессов и явлений на нескольких планетах, причинами которых могут быть одни и те же космические воздействия.

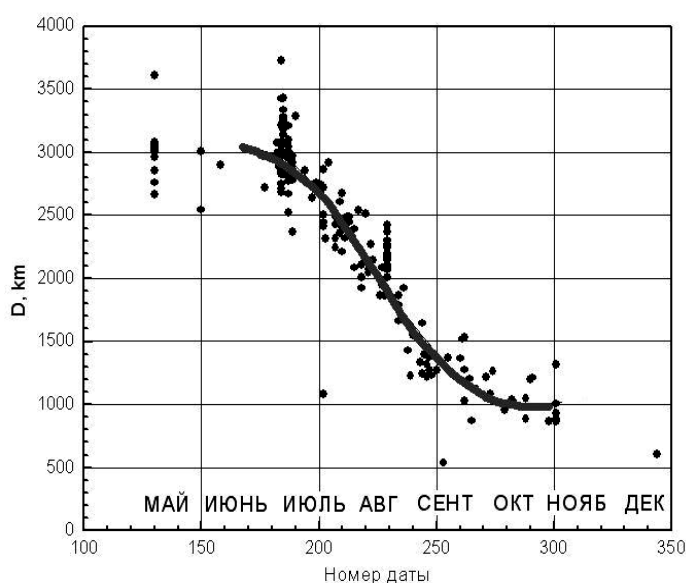
Если понятие “**климат**” для Земли можно считать более или менее определенным, несмотря на то, что существуют несколько различающиеся его трактовки, то в применении к другим планетам солнечной системы такой определенности пока нет. Совокупность каких характеристик планеты, выводимых из ее наблюдений, может быть объединена в понятие климата, - это вопрос, подлежащий серьезному обсуждению и анализу, тем более, что каждая из планет обладает своими специфическими особенностями. Для планет земного типа (Венера, Марс) это - отсутствие свободной воды на поверхности - океанов, морей, рек и озер, т.е того, что играет немаловажную роль в глобальном климате Земли. У планет-гигантов это - отсутствие твердой оболочки - поверхности, ограничивающей атмосферу снизу, наличие внутренних источников тепла, обеспечивающих более высокую эффективную температуру планеты по сравнению с радиационной равновесной, определяемой только поглощением и отражением солнечного излучения.

То, что большинство планет солнечной системы обладает атмосферами, было обнаружено еще по телескопическим визуальным наблюдениям, начало которым было положено в 1609 г. Галилео Галилеем, впервые направившим небольшой телескоп (скорее даже подзорную трубу) на небо, совершив тем самым революцию в астрономии.

Телескопические наблюдения открыли возможность изучения физической природы небесных тел, а не только их положения и движений. Кстати, 400-летию начала телескопической эры будет посвящен 2009 год, решением 62 Генеральной Ассамблеи ООН объявленный Международным Годом Астрономии (МГА-2009).

Возможности более или менее регулярных наблюдений за состоянием планетных атмосфер существенно изменились с появлением астрофотографии, поскольку фотоснимок более объективно регистрирует вид объекта, в отличие от субъективных особенностей индивидуальных зарисовок. Поэтому архивы астрономических фотографий, накопленные уже более чем за столетие, представляют особую ценность как в планетных, так и в других астрофизических исследованиях. Но и фотография обладала не только преимуществами, в частности, в документальности, но и некоторыми недостатками, прежде всего - сложностью самого фотографического процесса и нелинейностью в передаче яркости на изображении. Поэтому исключительно важным для астрофизических наблюдений оказалось появление в последние 20 лет ПЗС-матриц, обладающих строгой линейностью светопередачи, гораздо более широким динамическим диапазоном – более  $10^4$  (у фотопластинки он, строго говоря, не достигает и 100) и большей общей и спектральной чувствительностью.

Современные ПЗС-снимки планет, получаемые даже на телескопах умеренных размеров, отличаются высоким качеством, которое можно еще и улучшить благодаря тому, что в этом случае мы имеем дело с цифровым изображением, легко поддаваемым дополнительной компьютерной обработке. При этом электронное изображение содержит гораздо больше информации, чем фотографическое в силу линейности и широкого динамического диапазона причем . Речь может идти не только о снимках планет, но и о ПЗС-спектрограммах, обладающих теми же преимуществами перед фотографическими спектрами.



Все планеты солнечной системы, обладающие атмосферами, обнаруживают достаточно хорошо выраженные признаки высокой атмосферной активности и нестабильности.

Рис.1 - Изменение диаметра южной полярной шапки Марса в период таяния с мая по ноябрь 2003 г.

Так, на Марсе наблюдаются регулярные сезонные процессы, выражающиеся в изменении размеров светлых полярных шапок (рис.1) и окраски темных областей планеты, а также в нерегулярном появлении слабых облачных образований, различимых только в синих и фиолетовых лучах. Кроме того, изредка на планете происходят довольно мощные пылевые бури, во время которых поверхность планеты или отдельные ее области становится неразличимой даже в красных лучах. Это наиболее характерные проявления марсианской метеорологии. Крайне редко в атмосфере Марса возникают также циклоны, сходные с земными, подобно тому, что наблюдался с Hubble Space Telescope и нами на обсерватории АФИФ в апреле 1999 г [1].

Сложность наблюдений Марса состоит в том, что противостояния планеты, когда Марс приближается к Земле, повторяются лишь раз в два года, причем из-за довольно большого по сравнению с земным эксцентриситета орбиты Марса даже в противостоянии его угловой диаметр может различаться почти вдвое – от 25 угловых секунд до 15 и менее. В остальное время, вне периодов оппозиции, угловые размеры планеты слишком малы, чтобы можно было наземными средствами наблюдения детально исследовать происходящие на Марсе изменения. Поэтому для регулярного мониторинга происходящих на Марсе метеорологических процессов, сезонных и климатических изменений основная роль должна принадлежать специализированным космическим аппаратам – спутникам, обращающимся вокруг планеты в течение многих лет. Околоземные космические телескопы в этом отношении не слишком превосходят наземные, обеспечивая, конечно, более высокое разрешение. Но они так же зависят от времени видимости Марса.

Значительно более “удобны” для осуществления регулярного мониторинга планеты-гиганты (**Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун**). Во-первых, эти планеты обладают мощными водородными атмосферами и облачным покровом с более или менее отчетливо различимыми деталями, которые можно использовать для изучения динамических процессов на этих планетах. Во-вторых, сезоны непрерывной видимости этих планет с Земли более протяженны, так как собственное перемещение их при орбитальном движении гораздо меньше, чем у внутренних планет и Марса. Однако планеты-гиганты имеют особую энергетику благодаря наличию внутренних источников тепла, о чем свидетельствует заметное превышение их эффективных температур над радиационными равновесными температурами, определяемыми только поглощением солнечной энергии. Поэтому динамика атмосфер этих планет, обладающих к тому же и быстрым осевым вращением, носит сложный характер: скорости зональной атмосферной циркуляции на разных широтах различаются очень сильно.

Крупнейшая в солнечной системе планета Юпитер наиболее доступна для регулярных наземных наблюдений благодаря достаточно большим угловым размерам (до 45 угловых секунд в противостоянии) и ежегодным достаточно продолжительным периодам видимости. Зональная структура облачного покрова Юпитера, обусловленная быстрым вращением планеты, хорошо выражена благодаря значительным различиям в альбедо и цвете отдельных облачных поясов [ 2-3 ] и ее изменения легко прослеживаются даже в течение нескольких недель. В некоторые годы эти изменения принимают, можно сказать, драматический характер. Так, иногда один из двух характерных для Юпитера широких и темных близэкваториальных поясов исчезает, как это было в 1989 г. когда на планете был виден только темный северный пояс, а южный отсутствовал [ 4 ]. В 1962 г. экваториальный пояс Юпитера, обычно светлый, был занят широкой темной полосой, а в 2007 г. наблюдалось потемнение почти всего северного полушария Юпитера (рис.2).

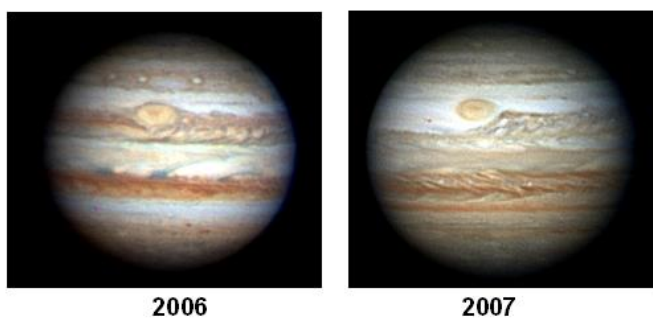


Рис.2 - Драматические изменения вида облачного покрова Юпитера от «классического» со светлым экваториальным поясом в 2006 г. к значительному потемнению всего северного полушария

Для планет-гигантов, особенно для Юпитера и Сатурна, характерны большие различия в скоростях отдельных зональных течений. У Юпитера наибольшее различие составляет около 150 м/с, у Сатурна оно достигает 500 м/с, причем на Юпитере широтный ход зональных скоростей далеко не монотонен - на некоторых широтах наблюдаются

локальные струйные течения с повышенными или пониженными скоростями. Любопытный факт, хотя и нуждающийся как раз в подтверждении регулярными измерениями, это то, что при значительных изменениях альbedo и расположения облачных поясов, наблюдаемых в видимом и инфракрасном диапазоне картина широтных вариаций скоростей остается почти неизменной. Юпитер менее всего подвержен сезонным изменениям распределения инсоляции, поскольку наклон его экватора составляет всего 3 градуса. Однако из-за эксцентриситета орбиты приток солнечной энергии к Юпитеру меняется примерно на 20 процентов. Судя по некоторым исследованиям, отношение альbedo северной и южной тропических облачных зон коррелирует с орбитальным положением Юпитера. Что здесь играет основную роль - небольшие вариации наклона экватора или расстояние от Солнца - это требует дальнейших наблюдений и их анализа. В сильных полосах поглощения метана вид Юпитера заметно отличается от того, каким он наблюдается в общих лучах, поскольку выделяются лишь наиболее высокие облачные образования. Это тоже один из путей для изучения кратковременных и долгопериодических изменений, происходящих в атмосфере планеты

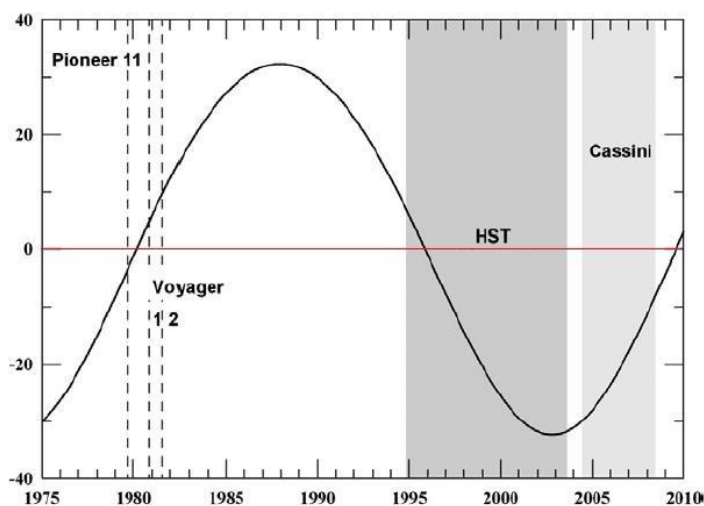


Рис.3 – Изменение угла наклона плоскости экватора и кольца Сатурна с 1975 по 2010 гг. Отмечены периоды исследований Сатурна с космических зондов «Вояджер 1 и 2» и «Кассини», а также период наблюдений с Космического телескопа им.Хаббла.(HST)

Сатурн представляет также весьма интересный объект для изучения как кратковременных явлений в его атмосфере, так и сезонных долгопериодических изменений. При хорошо выраженной зональной циркуляции на Сатурне временами наблюдаются довольно мощные локальные “бури” в экваториальном поясе планеты. Режим облучения Сатурна меняется от года к году, так как его экватор наклонен к плоскости орбиты на 27 градусов, так что в определенные периоды почти целое полушарие получает значительно меньше солнечной энергии из-за наклона и экранировки кольцами (рис.3). Однако даже при одинаковом режиме облучения в периоды ориентации кольца “ребром” по отношению к Солнцу атмосфера Сатурна в северном и южном полушариях ведет себя неодинаково - ряд параметров атмосферы, в том числе альbedo, коэффициенты потемнения к краю диска, интенсивность полос поглощения метана, обнаруживают четко выраженную асимметрию по полушариям [5]. Сезонные изменения на Сатурне проявляются, в частности, в обнаруженных нами изменениях поглощения метана со временем в южном полушарии за период с 1995 по 2007 гг.(рис.4)

Особый случай - планета Уран, ось вращения которой лежит почти в плоскости орбиты, так что планета бывает обращена к Солнцу или одним из полюсов или экваториальным поясом. Правда, изменение ориентации по отношению к Солнцу у Урана происходит очень медленно - период его обращения равен 84 годам. В этом году, например, ось вращения Урана перпендикулярна лучу зрения, так что мы видим экватор и кольца Урана «с ребра», а оба полушария находятся в одинаковых условиях инсоляции (рис.5).

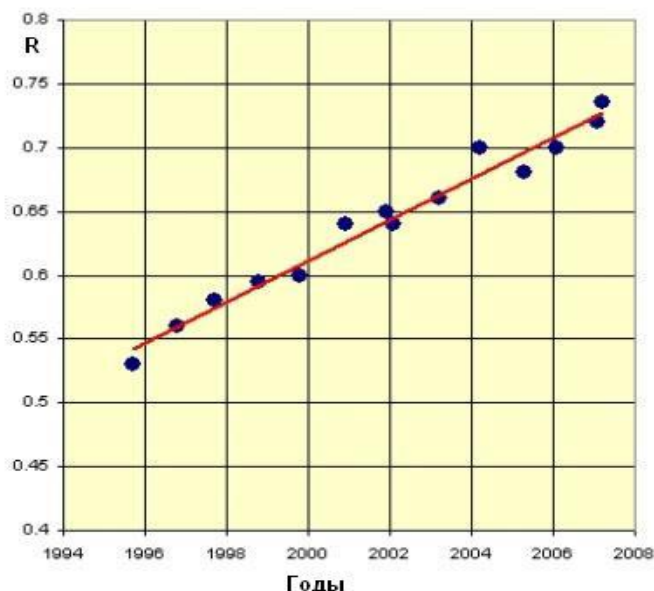


Рис.4 – Изменение величины центральной глубины полосы поглощения метана 725 нм в умеренном поясе южного полушария Сатурна с 1995 по 2007 гг. по наблюдениям в Астрофизическом институте им.В.Г.Фесенкова

Кратковременные явления в атмосфере этой планеты легче могут быть обнаружены на фоне тренда сезонных изменений, чем у планет с более коротким периодом обращения. Активные процессы на Уране выявляются по наличию ярких локализованных облаков, наблюдаемых в полосах поглощения метана и состоящих, по-видимому, из сконденсированного метана.

Несмотря на большую удаленность Нептуна от Солнца, активные процессы наблюдаются и в его атмосфере, что при наземных наблюдениях обнаруживается по появлению нестабильных облачных образований, видимых в полосах поглощения метана. На изображениях планеты, полученных с близкого расстояния при пролете Voyager 2 мимо Нептуна, хорошо видны вихревые образования в атмосфере

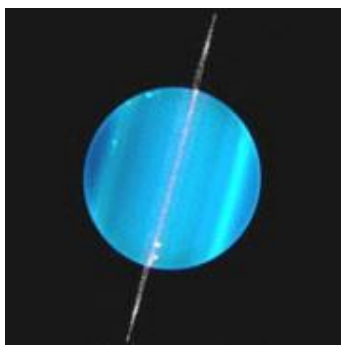


Рис.5.- Изображение Урана, полученное с HST в 2007 г, когда планета была ориентирована экватором к направлению на Солнце, что происходит лишь раз в 42 года.

В 50-60-е годы еще полагали, что атмосферы таких холодных планет как Уран и Нептун, находятся в совершенно стабильном состоянии и что блеск этих планет может служить индикатором изменения солнечной постоянной. Теперь очевидно, что это не так. Солнечное излучение, хотя лишь в небольшом количестве доходящее до Урана и Нептуна, играет определенную роль в фотохимических процессах в верхней атмосфере обеих планет, так что можно ожидать заметной реакции этих планет на воздействие космических факторов и исключать их из числа объектов планетного мониторинга ни в коем случае нельзя.

Необходимость регулярных наблюдений за происходящими на планетах изменениями была признана давно. Еще в 60-е годы прошлого века такие наблюдения со стандартным оборудованием были организованы на нескольких обсерваториях во Франции и США под общим наименованием «Планетный патруль». Специальные фотометрические исследования атмосферной активности Юпитера примерно в то же время и позднее выполнялись в Греции [6] и у нас в Астрофизическом институте [7].

В 1985 г. по инициативе автора, бывшего в то время президентом комиссии по изучению планет и спутников Международного Астрономического Союза (МАС) Генеральная Ассамблея МАС приняла резолюцию о необходимости развертывания Службы планет с целью поиска закономерностей в процессах на планетах и связи их с солнечной активностью. Тогда же Отделение Общей физики и астрономии АН СССР приняло специальную программу изучения долговременных процессов на планетах на 1985-2010 гг, в которой приняли участие многие обсерватории Союза. Ведущими учреждениями по этой программе были Главная Астрономическая обсерватория АН УССР и Астрофизический институт АН КазССР [8].

Развитие космических исследований планет открыло возможность более детального изучения структуры и активности планетных атмосфер с помощью наблюдательных средств, вынесенных за пределы земной атмосферы или находящихся в непосредственной близости к планете. При этом не теряют своего значения и систематические наземные наблюдения, в том числе - выполняемые в порядке сопровождения космических миссий.

Актуальность проблемы изменения земного климата определяет и современную направленность этих исследований – поиск и изучение тех глобальных процессов на планетах, синхронность которых может служить свидетельством общего воздействия космических факторов на все планеты, включая Землю. Поэтому такие исследования включены и в разработанные современные документы по стратегии изучения солнечной системы [9-11]. Учитывая многолетний опыт наблюдений планет, накопленный в Астрофизическом институте им.В.Г.Фесенкова [12-14], признано целесообразным организовать в рамках казахстанской космической программы Информационно-аналитический центр планетного мониторинга (ИАЦПМ).

Основными направлениями деятельности ИАЦПМ планируются следующие:

1. Проведение наземных наблюдений планет, в том числе по программам астрофизического сопровождения космических миссий к планетам.

2. Астрофизическое изучение метеорологических процессов и климатических изменений на планетах и поиск солнечно-планетных связей.

3. Поддержка программ международной кооперации в исследованиях неустойчивости планет и других тел солнечной системы и регулярные контакты с их координаторами..

4. Координация наблюдений и других работ по планетному мониторингу с поддержкой оперативной связи с обсерваториями других стран Евразии, Америки и Австралии. при сотрудничестве с Комиссией 16 по физике планет и спутников Международного Астрономического Союза.

5. Сбор, систематизация, хранение, обработка и анализ получаемых в рамках международных программ наблюдательных данных о климатических и метеорологических характеристиках планет по космическим и наземным исследованиям.

6. Подготовка, печать и электронная рассылка специального Бюллетеня со срочными сообщениями и обменом информацией в области планетных исследований.

7, Разработка программ исследований планет для будущих космических телескопов.

8. Специализированное обучение студентов и магистрантов в области земной и планетной метеорологии и климатологии, в том числе и с использованием международного обмена

9. Разработка и реализация образовательных программ и программ дистанционного обучения в области физики солнечной системы для школ и лицеев с физико-математическим и космическим уклоном.

В отдаленной пока перспективе основные наблюдательные задачи планетного мониторинга должны будут выполняться с помощью космических телескопов, либо орбитальных околоземных, либо установленных на Луне и обладающих рядом преимуществ перед орбитальными.

## **Литература**

1. Тейфель В.Г. Циклон на Марсе - наблюдения в 1999 г. // Астрон.вестник РАН , 2001, т.35, N3, с.214-217.
2. Фесенков В.Г. О природе Юпитера. Харьков, 1917, 120 с.
3. Фесенков В.Г. Явления, наблюдаемые на Юпитере. Происхождение темных полос.// Изв.Астрофиз.инст.АН КазССР, 1955, №1-2, с.239-251.
4. Tejfel V.G., Aksenov A.N., Vdovichenko V.D., Sinyaeva N.V., Gaisina V.N., Kharitonova G.A. Spectrophotometry of zonal cloud structure variations on Jupiter in 1988-1993. // J.Geophys.Research -Planets, 1994, v.99, N E4, p. 8411- 8423.
5. Tejfel V.G. The space-time asymmetry of atmospheric properties on Saturn // 32-nd Lunar and Planetary Science Conference, Houston, March 12-16, 2001, Abstr.N 1315.
6. Xantakis J., Petropoulos B., Banos C., Sarris E. Seasonal variation in the atmospheric activity of Jupiter. // Earth, Moon ,and Planets, 1991, v. 52, p.145-159.
7. Аксенов А.Н., Григорьева З.Н., Прибоева Н.В., Романенко С.Г., Тейфель В.Г. Фотометрическое изучение атмосферной активности Юпитера в 1964-1965 гг//. Астрон.вестник АН СССР, 1967, т.1, №3, с.173-179.
8. Тейфель В.Г. Служба планет.// Земля и Вселенная, 1990, N5, с.31-37.
9. Solar System Exploration – Roadmap. NASA, 2003, 76 p.
10. New Frontiers in the Solar System – An Integrated Exploration Strategy. National.Acad.Press, Washington,DC, 2003, 248 p.
11. PPARC Solar System Science Strategy 2002-2012,.UCL, London, 2002, 11 p.
12. Tejfel V.G. Planetary research has long history in Kazakhstan. //EOS - Transactions of American Geophysical Union, 1998, v.79, N20, pp.237,240-242
13. Tejfel V.G. Planetary research in Kazakhstan. //Planetary and Space Science, 2001, v.49, p.1347-1358
14. Тейфель В.Г., Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Харитоновна Г.А., Синяева Н.В., Глушкова Е.А., Каримов А.М. Планетные исследования в Астрофизическом институте им.В.Г.Фесенкова. // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные исследования в астрофизике и физико-математических науках» Петропавловск, 2004,с.53-66.

## **ПЛАНЕТАЛЫҚ МОНИТОРИНГ – КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІН СЕБЕБТЕРІН АНЫҚТАУ ЖОЛЫ**

**В.Г. Тейфель**

Планеталық мониторингтің мәселелері мен мақсаттары – регулярлы байқаулар және планеталардың атмосферасында өтетін процестердің зерттеулері қысқаша келтірілген. Бұлардың ең маңызды мақсаты Жердің де, басқа планетарлардыңда, глобалды климаттық өзгерістерінде ғарыштық факторлардың ролін бағалауда.

## **PLANETARY MONITORING - THE WAY TO FINDING-OUT OF THE REASONS OF CHANGE OF THE CLIMATE**

**V.G. Teifel**

The problems and tasks of the planetary monitoring consisted of regular observations and studies of the processes in the atmospheres of the planets are considered briefly. The main goal of them is to estimate the cosmic factors role in the global climatic changes on the Earth and other planets.