



УДК 523.46

Поглощение метана в атмосфере Сатурна около равноденствия 2009 г.

А.М. Каримов

Астрофизический Институт им В.Г.Фесенкова, г. Алматы

Рассматриваются широтные вариации интенсивности полос поглощения метана на Сатурне до и после имевшего место в 2009 г. равноденствия, когда наклон экватора планеты к направлению на Солнце был близок к нулю и оба полушария находились в равных условиях инсоляции. Выделены основные глобальные изменения в меридиональном распределении поглощения в слабых и умеренных полосах метана в диапазоне длин волн 580–800 нм. Сохраняется основная характерная особенность Сатурна — пониженное поглощение метана в экваториальном поясе.

ПОГЛИНАННЯ МЕТАНУ В АТМОСФЕРІ САТУРНА ПОБЛИЗУ РІВНОДЕННЯ 2009 Р., Карімов А.М. — Розглядаються широтні варіації інтенсивності смуг поглинання метану на Сатурні до і рівнодення 2009 р., коли нахил екватора планети до напрямку на Сонце був близький до нуля і обидві півкулі перебували в рівних умовах інсоляції. Виділено основні глобальні зміни в меридіональному розподілі поглинання в слабких і помірних смугах метану в діапазоні довжин хвиль 580-800 нм. Зберігається основна характерна особливість Сатурна - знижене поглинання метану в екваторіальному поясі.

ABSORPTION OF METHANE IN THE SATURN'S ATMOSPHERE NEAR 2009 EQUINOX, by Karimov A.M. — The latitudinal variations of intensity of the absorption bands of methane on Saturn before and after the equinox in 2009 are considered, when the tilt of the planet's equator to the direction to the Sun was close to zero and both hemispheres were in equal insolation. The basic global changes of meridional distribution of absorption in the weak and moderate bands of methane in the wavelength range of 580-800 nm are extracted. The most characteristic feature of Saturn — a reduced absorption of methane in the equatorial belt — retains.

Ключевые слова: Сатурн; полоса поглощения; эквивалентная ширина; центральная глубина; экватор.

Key words: Saturn; absorption band; equivalent width; central depth; equator.

В течение нескольких десятков лет в лаборатории физики Луны и планет Астрофизического Института им. В.Г.Фесенкова проводятся регулярные спектрофотометрические исследования атмосфер планет-гигантов. В частности, наблюдения Сатурна и Юпитера производятся в диапазоне длин волн 560–900 нм. В данном интервале определяются максимальная глубина (R) и эквивалентная ширина (W) полос поглощения метана 619, 670, 702, 725, 787 и 798 нм, для контроля также измеряется теллурическая полоса кислорода 760 нм. С 2004 года спектрофотометрические наблюдения Сатурна выполнялись с помощью дифракционного спектрографа SGS с ПЗС-камерой ST-7XE производства компании SBIG, устанавливаемого в 7.5-метровом кассегреневском фокусе 0.6-м телескопа РЦ-600. Спектрограф оснащен двумя дифракционными решетками, дающими разрешение 1 Å/пиксель и 4.3 Å/пиксель соответственно.

Обработка наблюдений велась по программам, написанным в таблицах Excel. Вычислялось отношение спектров отдельных зон или участков на центральном меридиана планеты к опорному усредненному спектру кольца Сатурна. Это позволяет исключить влияние спектральной зависимости чувствительности ПЗС-матрицы и теллурических абсорбционных линий и полос на профили полос поглощения. Затем по полученному массиву редуцированных значений спектральной яркости выполнялся расчет интенсивностей, профилей, центральных глубин и эквивалентных ширин поглощения метана. Кроме того, сравнивались яркостные профили центрального меридиана в непрерывном спектре и в центрах полос поглощения В периоды равноденствия Сатурна наблюдения позволяют провести сравнение оптических свойств и структуры его атмосферы в каждом из полушарий, при равных условиях освещения. В другие годы, между полушариями имеет место дисбаланс поступающей энергии от Солнца. За период более десятка лет это приводит к изменениям в температурном режиме тропосферы и стратосферы и в структуре облачного покрова.

В 2007 г. поглощение на разных широтах было не одинаково, полосы 619, 670 и 702 нм в северном полушарии (40°–60°) имели более высокие значения W и R, чем в южном (рис. 1); эта тенденция имела место и в 2008 г. Сильные полосы 725 и 787 нм имели повышенные значения W и R в полярных широтах обоих полушарий. Ход W798 отличается от хода W725 большим ростом в умеренных широтах по сравнению с высокими широтами и экваториальным поясом [1]. В южном полушарии в зоне широт 20°–40° полосы имеют увеличение эквивалентных ширин, в слабых полосах этого не обнаружено [1].

Усиление поглощения наблюдается также вблизи южного полюса, а в поясе широт от -40° до -80° градусов южного полушария поглощение заметно слабее.

В феврале 2008 г. значительная часть северного полушария стала видимой и свободной от затенения кольцом. Широтный ход слабых и сильных полос в северном полушарии был различным. На высоких широтах ($60^\circ - 80^\circ$) у сильных полос эквивалентные ширины почти точно совпадают в обоих полушариях. Иначе ведут себя слабые полосы: в северном полушарии: поглощение в них оказывается существенно выше, чем в южном. Эта особенность отмечена в 2007 г., и теперь подтвердилась новыми наблюдениями [2]. В южном полушарии в области умеренных широт ($-20^\circ \dots -40^\circ$) сильные полосы имеют заметное увеличение эквивалентных ширин, чего нет у слабых полос.

Последние равноденствия для Сатурна пришлись на 1995 и 2009 годы. В период между 1995 и 2004 годами южное полушарие Сатурна постепенно обращалось к Солнцу и в 2001–2004 годы угол наклона экватора и кольца к направлению на Солнце был наибольшим — это соответствовало середине «лета» в южном полушарии.

До равноденствия 2009 г. наблюдался рост метанового поглощения в умеренных широтах южного полушария. Можно было ожидать, что в равноденствие 2009 г. картина асимметрии поглощения в северном и южном полушарии изменится на зеркальную, но этого не произошло: в обоих полушариях на умеренных широтах наблюдались почти одинаковые значения глубин и эквивалентных ширин полос поглощения метана. Причина видимо в различиях расстояния Сатурна от Солнца в период до равноденствия 1995 г., когда он находился на максимальном удалении и приближался к Солнцу до 2003 г. и в период до равноденствия 2009 г. (январь) (рис. 2). Это создает неравенство радиационного режима в северном и южном полушариях в течение сатурнианского года.

Обработка спектрограмм, полученных в начале 2009 года, показывает существенное отличие в широтном ходе поглощения по сравнению с данными 1995 года, когда имела место аналогичная ориентация кольца, наряду с другими исследованиями указывают на сезонный характер происходящих измене-

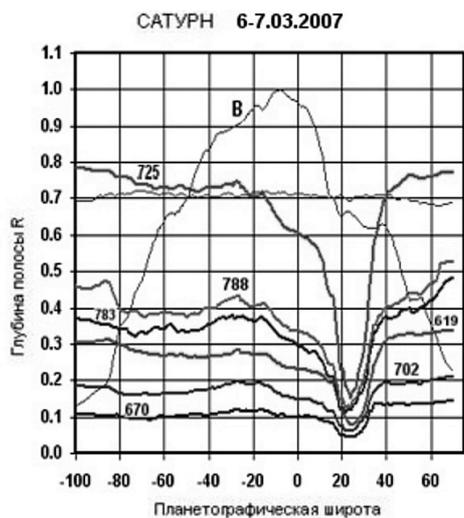


Рис. 1. Центральные глубины R полос поглощения метана на Сатурне в 2007 г.

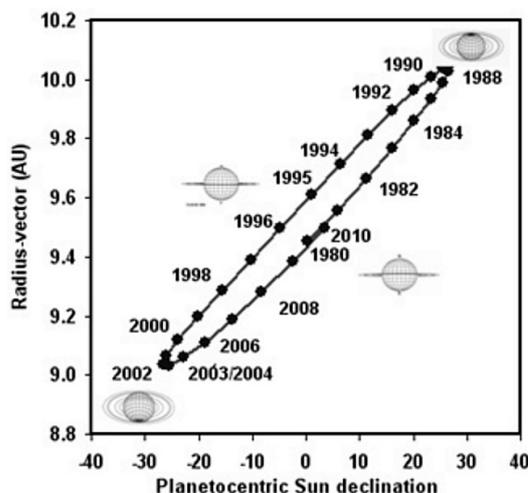


Рис. 2. Положение Сатурна на орбите в течении полного оборота вокруг Солнца

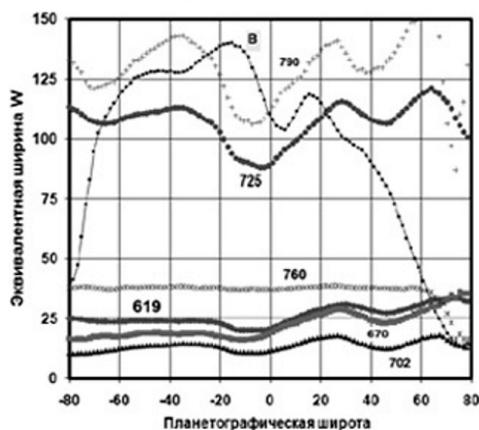
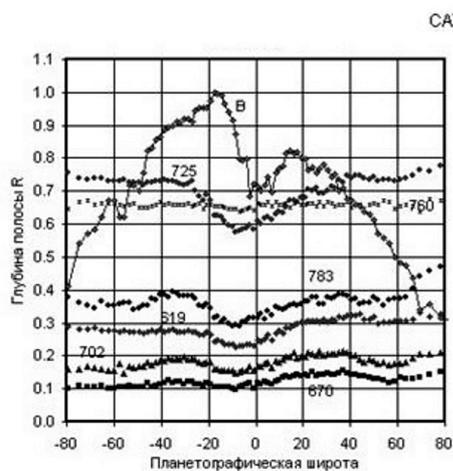


Рис. 3. То же, что и на рис. 1, с добавлением эквивалентных ширин W (справа) для 2009 г., на момент равноденствия

ний в атмосфере Сатурна. Ожидалось, что в 2009 г. широтные вариации поглощения на Сатурне будут подобны ситуации при равноденствии Сатурна 1995 г. [3], но в зеркальном отображении. Однако в 2009 г. наблюдалось почти одинаковое поглощение в обоих полушариях на умеренных широтах. Полоса 725 нм была по интенсивности почти одинакова в обоих полушариях, кроме экваториального пояса с минимальным поглощением. Слабые полосы имеют усиление в умеренных широтах северного полушария ($40^\circ - 60^\circ$) по сравнению с южным, причем наибольший эффект показывают эквивалентные ширины полос (рис. 3) [4, 7].

Различие в характере широтных вариаций в равноденствия 1995 и 2009 г. можно объяснить различиями в расстоянии Сатурна от Солнца, предшествовавшими году равноденствия, и как следствие, в существенном различии радиационного режима полушарий Сатурна. До равноденствия 1995 г. Сатурн находился на максимальном удалении от Солнца, достигавшем 10,1 АЕ в 1989 г., тогда как перед равноденствием 2009 г. его гелиоцентрическое расстояние было минимальным в 2003 г. и составляло 9,0 АЕ, и к Солнцу было наклонено южное полушарие (рис. 2). Поэтому приток солнечной энергии к южному полушарию в это время был больше, чем к северному, обращенному к Солнцу до 1995 г.

Слабые полосы поглощения в 2010 г. в величине W , имели минимум в области умеренных широт ($30^\circ - 60^\circ$) обоих полушарий. В течении годового периода наблюдений, этот минимум постепенно сглаживался. В умеренных широтах, ($45^\circ - 55^\circ$) с начала наблюдений повышенное поглощение преобладало в северном полушарии, где оно значительно выросло в связи с увеличением инсоляции (в полосе 619 нм с 27 до 32 Å). В полосе 702 нм незначительный рост поглощения происходит в южном полушарии. В полосе 725 нм в южном полушарии остаётся неизменным повышенное поглощение [8]. В начале 2010 года планетоцентрическое склонение Земли составляло около 3° , при этом кольца Сатурна, затеняющие диск, оказывали незначительное влияние на параметры полос поглощения. Таким образом, поглощение

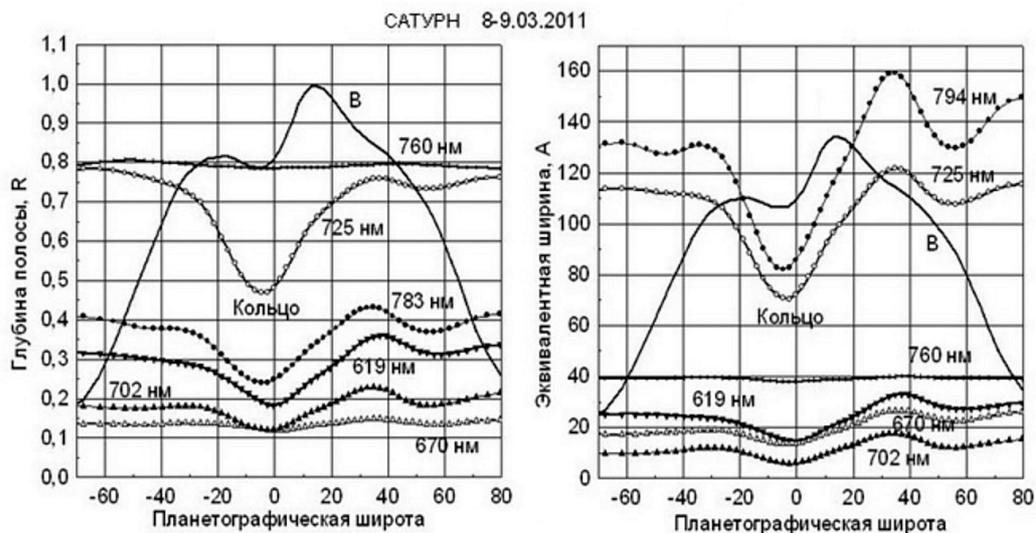


Рис. 4. То же, что и на рис. 1, с добавлением эквивалентных ширин W (справа) для 2011 г.

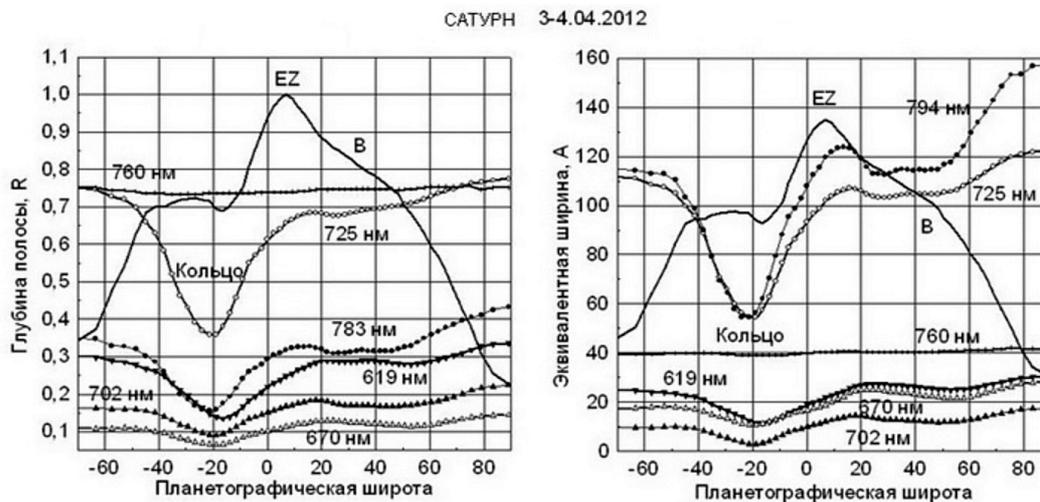


Рис. 5. То же, что и на рис. 1, с добавлением эквивалентных ширин W (справа) для 2012 г.

в экваториальном поясе Сатурна в основном определялось свойствами облачного слоя [9]. Позднее было отмечено относительное увеличение центральной глубины метановых полос на экваторе в умеренных широтах обоих полушарий.

В декабре 2010 года спектры центрального меридиана Сатурна показали гораздо меньшую разницу в северном и южном полушариях, чем наблюдалось ранее и позднее этого периода. Вполне возможно, что это было связано с хорошо развитым Большим Северным возмущением на широте около 40° . Это активное атмосферное возмущение дало начало постепенно растягивающейся по долготе двойной светлой полосе, которая в 2011 году охватила все долготы в виде пояса, голубоватого по сравнению с соседним облачным покровом.

В 2011–12 гг. в экваториальном поясе Сатурна поглощение было значительно меньше, чем на умеренных и высоких широтах. Эта особенность, обусловленная, скорее всего, повышенным уровнем верхней границы экваториального облачного слоя или наличием более плотной надоблачной дымки, сохраняется в течение многих десятков лет. Это подтверждают и ранние спектральные наблюдения Сатурна. Надежные измерения поглощения в экваториальном поясе возможны лишь в периоды равноденствий, когда отсутствуют помехи со стороны кольца, ориентированного ребром к земному наблюдателю. В другие периоды влияние кольца затрудняет такие измерения. Само же кольцо, создает дополнительную глубокую депрессию наблюдаемого поглощения. Вполне возможно, что в экранируемой кольцом зоне, где инсоляция им достаточно сильно ослаблена, происходят свои изменения в структуре и плотности облаков, зарегистрировать которые невозможно. В ходе метанового поглощения в поясах умеренных широт в рассматриваемый период обращает на себя внимание следующее. Глубина метановой полосы 725 нм и в северных и южных умеренных широтах почти одинакова, тогда как эквивалентная ширина обнаруживает тенденцию к росту в северном полушарии, что еще более резко проявляется у полосы 794 нм. При этом наблюдается у обеих полос депрессия в поясе широт $30^\circ - 60^\circ$ с ростом поглощения к северному полюсу. Депрессия эта присутствует и у слабых полос (рис. 4) [5]. В 2012 г. она расширяется к югу, сохраняя подъем поглощения к северному полюсу, который уже находится не на лимбе, а на видимой части диска Сатурна. Необходимо отметить некоторую необычность ситуации с Сатурном в рассматриваемый период. В конце 2010 г. на Сатурне в северном полушарии на широте около 40° возникло яркое пятно, названное Северным Тропическим Штормом. Это активное атмосферное возмущение дало начало постепенно растягивающейся по долготе двойной светлой полосе, которая в 2011 году охватила все долготы в виде голубоватого по сравнению с соседним облачным покровом пояса. Этот пояс наблюдается и в 2012 году.

Также, 2012 году северном полушарии имел место четко определенный максимум поглощения, переменяясь во времени от широты 40° до $25^\circ - 30^\circ$. Депрессия поглощения наблюдалась в более высоких широтах $70^\circ - 50^\circ$, также с расширением на юг (рис. 5) [6].

Выводы: Все наблюдаемые вариации молекулярных полос поглощения в периоды между равноденствиями связаны с сезонными изменениями радиационно-теплового режима в различных зонах Сатурна, и для его изучения необходимы более детальные исследования.

1. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонов Г.А. Сезонные и широтные вариации поглощения метана на диске Сатурна // Известия НАН РК, серия физико-математическая. — 2007. — **254**, № 4. — С. 99–102.
2. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонов Г.А. Особенности широтных различий у слабых и сильных полос поглощения метана на Сатурне // Известия НАН РК, серия физико-математическая. — 2008. — **260**, № 4. — С. 104–106.
3. Тейфель В.Г. Распределение молекулярного поглощения по диску Сатурна по наблюдениям в 1995г. на основе зональной спектрофотометрии с ПЗС-камерой. Результаты наблюдений. // Астроном. вестник РАН. — 1997. — **3**, № 3. — С. 222–231.; Solar System Res. — 1997. — **31**, № 3. — P. 198–206.
4. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Кириенко Г.А., Харитонов Г.А. Сезонные различия в северном и южном полушариях Сатурна по данным спектрофотометрии 1995 и 2009 гг. // Известия НАН РК, серия физико-математическая. — 2009. — **266**, № 4. — С. 105–109.
5. Тейфель В.Г., Каримов А.М., Синяева Н.В. Спектрофотометрия Сатурна во время Большого северного возмущения (Северного тропического шторма) // Известия НАН РК. серия физико-математическая. — 2011. — **278**, № 4. — С. 86–90.
6. Каримов А.М. Поведение полос поглощения метана на Сатурне после равноденствия 2009 года // Известия НАН РК. серия физико-математическая. — 2012. — **283**, № 3. — С. 72–76.
7. Tejfel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A., et al. The hemispheric differences in the methane and ammonia absorptions on Saturn near last equinox in 2008–2010 // 42-nd DPS Meeting — Bulletin of the American Astronomical Society. — 2010. — **42**. — P.1021.
8. Tejfel V.G., Karimov A.M., Kharitonova G.A. Preliminary comparison of the methane absorption latitudinal distribution on Saturn's disk near zero tilt of the rings in 1995 and 2009 // Geophysical Research Abstracts. — 2009. — **11**. — P.9735.
9. Apt J., Singer R.B. Cloud height differences on Saturn // Icarus. — 1982. — **52**. — P. 503–508.

Поступила в редакцию 31.07.2013