

СПЕКТРОСКОПИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 535.34

Н.И. Кобанов

К возможности исследования волновых процессов в приземной атмосфере с помощью солнечного телескопа

Институт солнечно-земной физики, г. Иркутск

Поступила в редакцию 17.09.2001 г.

В Саянской солнечной обсерватории проведены исследования, указывающие на существование квазипериодических вариаций положения и формы профиля теллурических спектральных линий H_2O и O_2 . Периоды этих флуктуаций лежат в области исследуемых солнечных осцилляций – от 3 до 40 мин. Этот факт следует принимать во внимание при использовании теллурических линий в качестве реперов. Подобные измерения могут быть также полезными при исследовании волновых процессов в земной атмосфере.

Введение

Как известно, солнечное излучение, проходя через земную атмосферу, испытывает достаточно сильное поглощение и рассеяние на смеси, состоящей из молекул и атомов основных компонентов земной атмосферы. При этом в различных участках солнечного спектра появляются так называемые теллурические линии. Они выглядят как обычные фраунгоферовы линии, но их форма и положение в спектре не зависят от движений в солнечной атмосфере. Традиционно в физике Солнца они используются как спектральные реперы при измерении лучевых скоростей. Как показал опыт, это оправдано при точности измерений до 10–20 м/с [1].

При измерении с большой точностью становится очевидно, что теллурические линии испытывают собственные смещения, вызванные движениями воздушных масс, ответственных за образование этих линий. А поскольку земная атмосфера является сложной динамической системой, то в ней присутствуют многие типы движений, включая колебания и волны различных периодов и пространственных масштабов.

Такие колебательные движения могут вызвать синхронную дисторсию отдельных участков изображения солнечной поверхности. В свою очередь, это может стать причиной серьезных ошибок при исследовании колебательных и волновых процессов в солнечной атмосфере. Таким образом, исследования волновых движений по теллурическим линиям не только дают прямую оценку стабильности спектрального репера, но могут стать дополнительным источником ценной информации и в том случае, когда теллурические линии не используются как реперы. Кроме того, исследования характеристик волновых движений непосредственно важны в изучении динамики дневной атмосферы.

Метод и инструмент

Следует заметить, однако, что выполнение подобных измерений – задача сложная. Как правило,

эти измерения проводятся с помощью дифракционных солнечных спектрографов, которые обладают внутренними шумами. По разным оценкам, амплитуда шумов для конкретных спектрографов составляет десятки – сотни метров в секунду. Основная причина шумов – неоднородности температуры и давления воздушной массы внутри спектрографа [2]. Причем пространственные неоднородности проявляются на масштабах от миллиметра и более [3]. Поэтому даже использование искусственного репера (например, лазера) не исключает полностью шумы спектрографа.

Дифференциальные методы, разработанные в 80-е гг. для целей гелиосейсмологии [4], оказались применимы и для исследований земной атмосферы. Суть метода заключается в том, что через входную щель спектрографа с помощью поляризационной призмы одновременно проходят два пучка света от разных участков солнечной поверхности. В земной атмосфере пути световых пучков слегка разнятся, и если физические условия на соседних трассах различны, то это приведет к разнице в положении соответствующих спектральных компонент теллурической линии. В спектрографе эти пучки ортогонально поляризованы и смещены с помощью дефлектора в направлении дисперсии на некоторую постоянную величину $\Delta\lambda_0$. Это смещение обычно выбирают равным полуширине рабочей спектральной линии. Модулируя состояние поляризации, можно менять направление смещения спектральных компонент. Если лучевая скорость обоих участков изображения одинакова, то дистанция между компонентами не изменится. В противном случае она составит $\Delta\lambda_0 + \Delta\lambda_d$ в один такт модуляции и $\Delta\lambda_0 - \Delta\lambda_d$ – в другой. Вычитание дает $2\Delta\lambda_d$, где $\Delta\lambda_d$ – разность доплеровских смещений для двух лучей. Поскольку оба пучка проходят в совершенно одинаковых условиях, то инструментальное смещение обеих спектральных компонент всегда одинаково и не влияет на величину $\Delta\lambda_d$. Последнее справедливо и для безмодуляционных измерений с помощью п.з.с.-фотоприемников [5].

В некоторых случаях при накоплении 10 с удалось уменьшить внутренние шумы спектрографа до 0,1 м/с. При таком уровне шумов становятся доступными измерения атмосферных колебательных процессов по теллурическим линиям. Совмещение лучей на входе спектрографа можно осуществлять различными устройствами [4]. Максимальное расщепление изображения ограничено 0,5, т.е. угловым размером видимого солнечного диска. Исследования проводились на автоматизированном солнечном телескопе (АСТ) Саянской астрофизической обсерватории.

Наблюдения и результаты

Приведенные ниже результаты получены из наблюдений, выполненных в разные годы, с 1985 по 2001. Для измерения выбирались линии кислорода O_2 и водяных паров H_2O . Общая продолжительность измерений составила 35 ч для нескольких кислородных линий на участке спектра 687–690 нм и около 28 ч для линий воды с $\lambda = 590,1$ и $656,42$ нм. Приведенный на рис. 1 фрагмент временной серии хорошо иллюстрирует влияние внутренних шумов спектрографа. Из рис. 1 и 2 видно, что измерения, выполненные в одной линии, но в разное время, могут существенно различаться. Спектральные оценки были

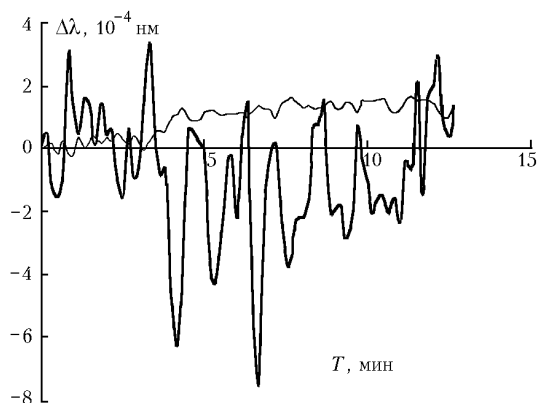


Рис. 1. Смещения теллурической линии; жирная линия – доплеровское смещение + шумы спектрографа; тонкая – дифференциальный сигнал (без шумов спектрографа)

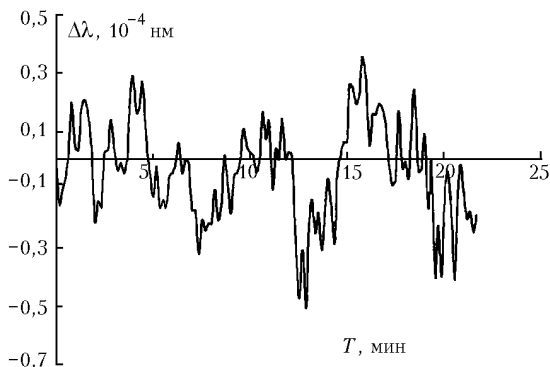


Рис. 2. Фрагмент временной серии без шумов спектрографа получены применением стандартной процедуры быстрого преобразования Фурье. Перед этим временной

ряд центрировался вычитанием общего среднего и сглаживался на концах (обычно с помощью фильтра «косинус квадрат»), устранялся линейный тренд, если была необходимость. Спектры мощности отдельных временных серий обычно различаются, хотя при этом обнаруживают некоторое сходство. На рис. 3 приведены спектры мощности сигнала лучевой скорости, измеренного в кислородной линии $\lambda = 688,38$ нм.

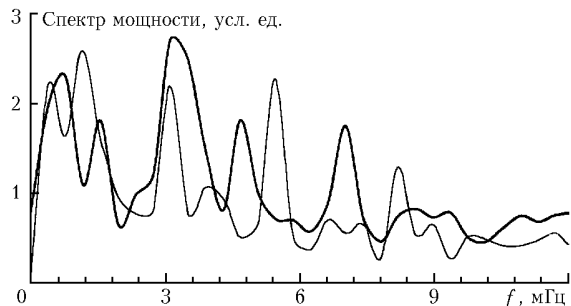


Рис. 3. Спектр мощности для кислородной линии ($\lambda = 688,38$ нм); жирная линия – временная серия от 25.04.2001; тонкая – аналогичная серия двумя днями раньше

На рис. 4 представлены спектры двух временных серий для измерений, выполненных в линии воды $\lambda = 656,5$ нм. Из анализа спектров видно, что спектральные максимумы расположены вблизи периодов 2,5 – 3; 5; 15 – 20; 30 – 40 мин. Поскольку при измерениях

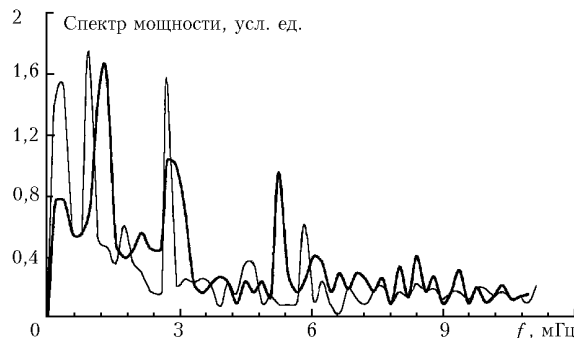


Рис. 4. Два спектра мощности для линии H_2O ($\lambda = 656,42$ нм); жирная линия – 02.06.2001, 01:52 – 03:18 UT; тонкая линия – 02.06.2001, 05:45 – 07:12 UT

смещений спектральных линий не производилась регистрация всего контура, то можно предположить, что причиной сигнала являются как смещения линии в целом, так и деформация профиля линии в ее средней части. Последнее также обусловлено доплеровскими скоростями, но вызванными пространственно неразрешенными движениями периодического характера.

Следует заметить, что физические причины таких смещений теллурических линий не ограничены доплеровскими скоростями. Известно также, что линии H_2O испытывают сдвиг по длине волны вследствие изменения давления или температуры [6]. Зондаж приземной атмосферы с помощью современных средств локации выявляет довольно резкие пространственные и временные аномалии этих характеристик [7]. В любом случае обнаруженные периодичности свидетельствуют о колебательных

процессах в приземной атмосфере. В дальнейшем планируется провести исследования временных характеристик биссекторов отдельных теллурических линий.

Выводы

Из совместного анализа материалов 1984 – 2001 гг. следует, что наиболее часто отмечаемыми периодами являются 5 и 15 – 20 мин. *Более длинные периоды (30–40 мин) отмечаются значительно реже, это же можно сказать и о периодах 1,5–2,5 мин.* Заметим, что в конце 70-х гг. советские ученые с помощью баллонов исследовали γ -излучение в земной атмосфере и обнаружили похожие периодичности [8]. Интересно также, что близкие периоды регистрируются при исследовании различных солнечных явлений. Результаты, приведенные в данной статье, имеют двойное назначение. С одной стороны, они необходимы для учета всех артефактов при исследовании солнечных волновых процессов, а с другой – несут информацию о физических явлениях в земной атмосфере.

Работа выполнена при частичной финансовой помощи РФФИ (поддержка ведущих научных школ), грант № 00-15-96659, и программы «Астрономия».

1. Balthasar H., Thile U., and Wohl H. Terrestrial O₂ lines used as references: comparison of measurements and com-

putations // Astron. and Astrophys. 1982. V. 114. P. 357–359.

2. Kobanov N.I. On the accuracy of line-of-sight velocity measurements using telluric lines as reference // Sol. Phys. 1985. V. 99. P. 21–23.
3. Кожеватов И.Е. Радиофизические методы анализа интегральных характеристик спектра солнечного оптического излучения: Автореф. канд. дис. Горький, 1988.
4. Kobanov N.I. The study of velocity in the Solar photosphere using the velocity subtraction technique // Sol. Phys. 1983. V. 82. P. 237–243.
5. Кобанов Н.И. Измерения дифференциальной лучевой скорости и продольного магнитного поля на Солнце с помощью п.з.с.-фотоприемников. Ч. I. Безмодуляционный метод // Приборы и техн. эксперим. 2001. № 4. С. 110–115.
6. Grossmann B.E. and Browell E.V. Water-vapor line broadening and shifting by air, nitrogen, oxygen, and argon in the 720-nm wavelength region // J. Mol. Spectrosc. 1989. V. 138. № 2. P. 562–595.
7. Odintsov S.L. Analysis of the data of acoustic sounding in conditions of the stable stratification of the boundary layer of the atmosphere // Atmosph. and Ocean Optics. Atmosph. Phys. VIII Joint Intern. Symp. Irkutsk, June 24–29, 2001. P. 151.
8. Гальпер А.М., Кириллов-Угрюмов В.Г., Курочкин А.В., Лейков Н.Г., Лучков Б.И. Пятиминутные пульсации интенсивности жесткого гамма-излучения в атмосфере // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. № 9. С. 631–633.

N.I. Kobanov. On a possibility of investigating wave processes in the ground atmosphere with a solar telescope.

At the Sayan Solar Observatory, investigations were carried out, which indicated the existence of quasi-periodic variations in the position and form of the H₂O and O₂ telluric spectral lines. The periods of these fluctuations lie in the region of the solar oscillations under investigation, from 3 to 40 minutes. This fact should be taken into consideration when using the telluric lines as reference ones. Such measurements can also be useful in investigating wave processes in the Earth's atmosphere.