

УДК 524.337

Некоторые итоги международных кампаний наблюдений вспыхивающих звезд в 90-е и 2000-е годы с участием 50-дюймового телескопа КрАО

Б.Е. Жилиев, И.А. Верлюк, О.А. Святогор

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

Поступила в редакцию 20 декабря 2012 г.

1 Введение

В середине 90-х 50-дюймовый телескоп КрАО был инкорпорирован в состав Синхронной Сети удаленных Телескопов в рамках международного сотрудничества между астрономическими обсерваториями Украины, России, Болгарии и Греции. Телескопы Сети оснащены стандартизированными фотометрическими системами на основе ФЭУ и единой системой времени на основе GPS-приемников, что позволяет синхронизировать все апертуры с точностью до 1 микросекунды в шкале времени UTC. С 2009 г. ряд телескопов Сети, в том числе 50-дюймовый телескоп КрАО, были оснащены бесщелевыми UVVR-спектрографами низкого разрешения ($R \sim 100$). Применение новых технологий наблюдений с Синхронной Сетью Телескопов и новых методов обработки данных позволило получить ряд новых результатов: были обнаружены и исследованы (1) депрессии фотосферного излучения во время вспышек EV Lacertae на 1–4 %; (2) высокочастотные колебания оптического излучения вспышек звезд типа UV Ceti; (3) вариации эмиссий в Бальмеровских линиях и линиях CaII H, K в вспыхивающей звезде EV Lac в спокойном состоянии в субсекундном диапазоне.

2 Депрессии фотосферного излучения во время вспышек

История фотометрии вспыхивающих звезд знает множество примеров предвспышечного ослабления блеска. Подробная летопись этого феномена, как с точки зрения наблюдений, так и попыток его теоретического объяснения, приводится в монографии Гершберга (2002). Впервые о наблюдениях ослаблений у EV Lac сообщил, по-видимому, Кристальди и др. (1969). Было установлено, что ослабления в оптическом диапазоне характеризуются амплитудой несколько процентов. Статистические исследования предвспышечных ослаблений блеска показали, что как частота появления феномена, длительность его проявления, а также характер протекания в разных лучах, от ультрафиолета до ближнего ИК-диапазона, характеризуются широкой вариабельностью.

По-видимому, классический случай феномена предвспышечного ослабления блеска представлен на рис. 1. Событие было зарегистрировано во время проведения международной кампании синхронных наблюдений EV Lac в 1996 г. на трех обсерваториях в Украине, России и Болгарии. Феномен получил наименование «эмиссионного пика в абсорбционном блюде».

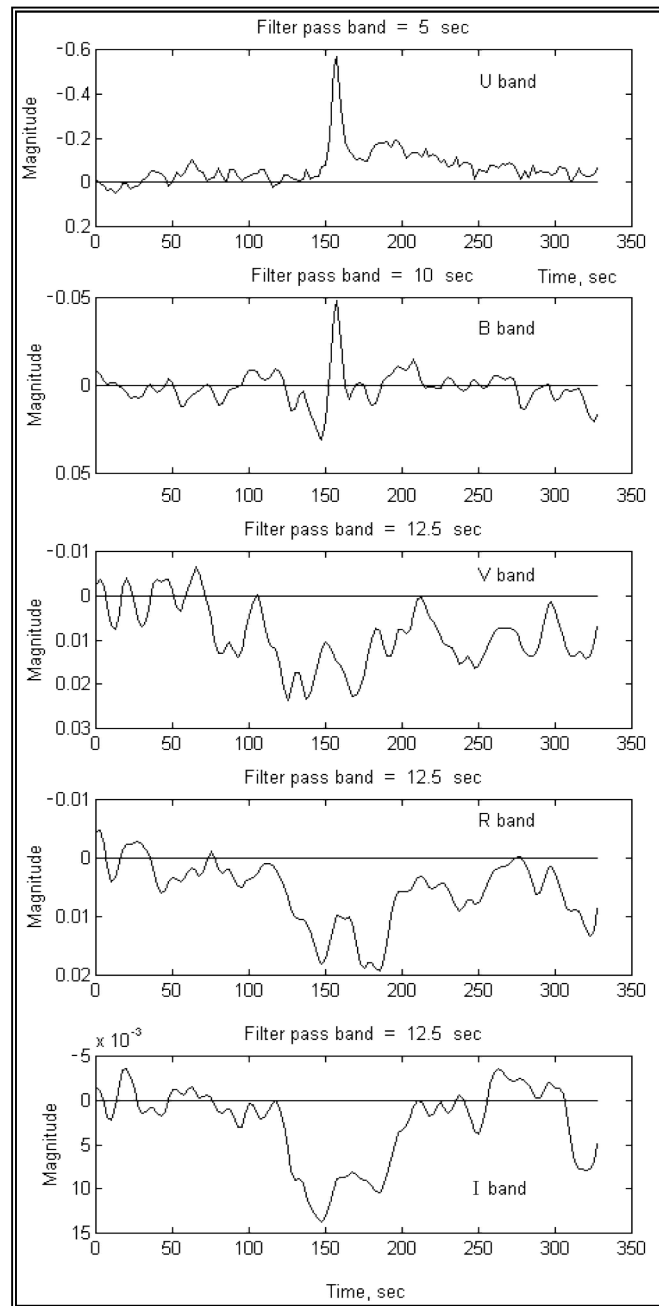


Рис. 1. EV Lac 5 октября 1995 г., 23:47:36 UT. UBVRI фильтры сверху вниз. Телескоп АЗТ-11 Крымской обсерватории

Наблюдения EV Lac, показанные на рис. 1, были произведены на 1.25-м телескопе АЗТ-11 в Крыму 5 октября 1996 г., 23:47:23 UT, с UBVRI фотометром-поляриметром (Пиирола, 1984; Калмин и Шаховской, 1995; Жилаев и др., 1998). Мониторинг был проведен в UBVRI одновременно, с временным разрешением 0.1 сек. Обнаруженная вспышка примечательна по многим причинам, в том числе своим уникальным поведением в разных цветах. Излучение самой вспышки характеризуется краткой продолжительностью и появляется одновременно в

Некоторые итоги международных кампаний наблюдений...

полосах UBVR с амплитудами -0.55, -0.05, -0.01, -0.007, -0.005 соответственно. Время задержки в фильтрах RI относительно UBVR составляет около 10 секунд. Четко видна эмиссия вспышки в полосе U продолжительностью более 150 секунд.

До и после вспышки видны падения интенсивности в V, R и I и частично в полосе B. Падения блеска имеют четко определенные границы с характерным временем падения около 20 сек и временем нарастания около 90 сек. Очевидно, что такие ослабления блеска являются феноменом, связанным с началом вспышки. Обращает на себя внимание то, что амплитуды ослабления в полосах BVRI довольно малы и колеблются от 0.02 до 0.01 зв. вел. Такие малые вариации блеска лежат обычно ниже предела обнаружения в исходных рядах фотометрических данных. Их открытие стало возможным только благодаря использованию методов цифровой фильтрации.

Рисунок 2 демонстрирует феномен «эмиссионного пика в абсорбционном блюдец» в синих лучах, зарегистрированный на пике Терскол, на 60-см телескопе 1 августа 1995 г. Ослабление блеска четко видно на протяжении всей длительности вспышки около 12 минут. Депрессия блеска в полосе B составляет около 0.03 зв. вел, в то время как амплитуда вспышки в синих лучах составляет около 0.05 зв. вел.

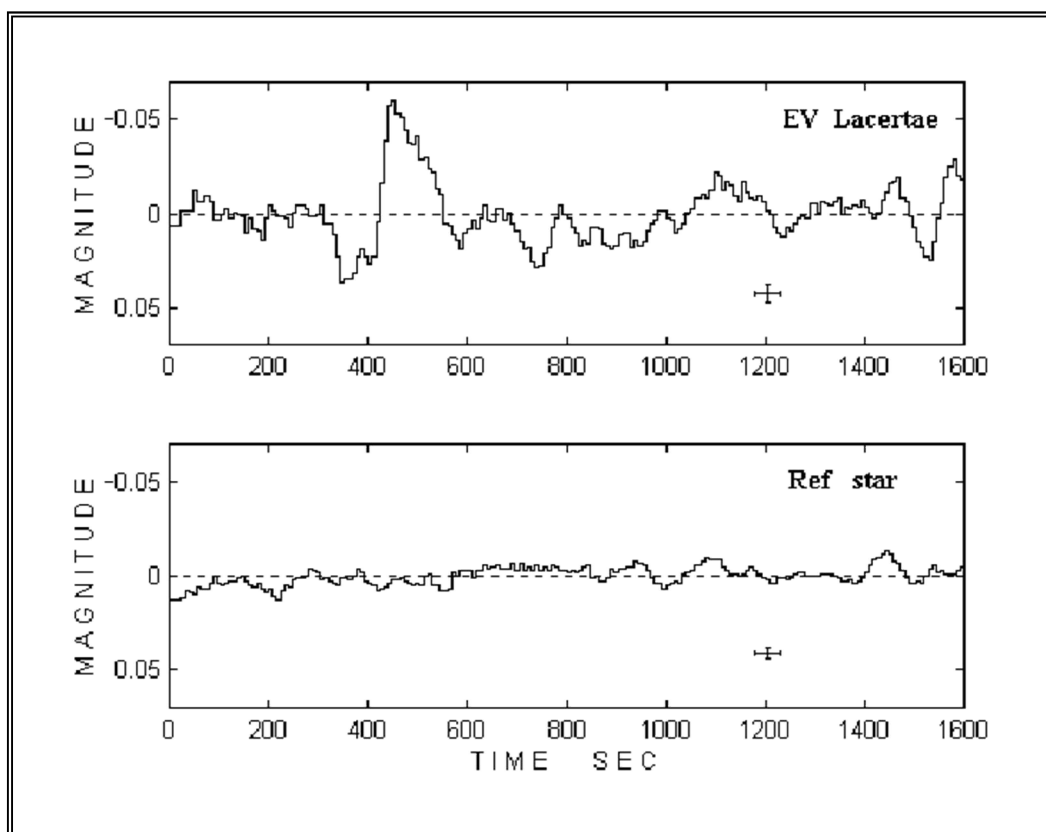


Рис 2. EV Lac 1 августа 1995 г., 23:00:16 UT. В фильтр, пик Терскол, временное разрешение 8 сек

На рис. 3 приведен случай экстремальной вспышки EV Lac от 4 августа 1995 г., 23:23:20 UT (Жилиев и др., 1998). Это знаменательное событие было зарегистрировано одновременно на двух удаленных телескопах Синхронной Сети Телескопов. U-кривая блеска была получена на пике Терскол. Мониторинг в фильтре B был проведен в обсерватории Белоградчик в Болгарии. Исходные данные указывают на вспышку в фильтре U с эффективной шириной 0.6 с и

амплитудой -1.5 ± 0.2 зв. величины. После фильтрации исходных данных в фильтре В было найдено падение блеска во время вспышки на 0.09 ± 0.03 зв. вел. длительностью 1.5 сек. Кривые блеска на рис. 3 были сглажены с помощью фильтра Гаусса с временным окном 0.6 с. Величины стандартных ошибок показаны для спокойного состояния звезды.

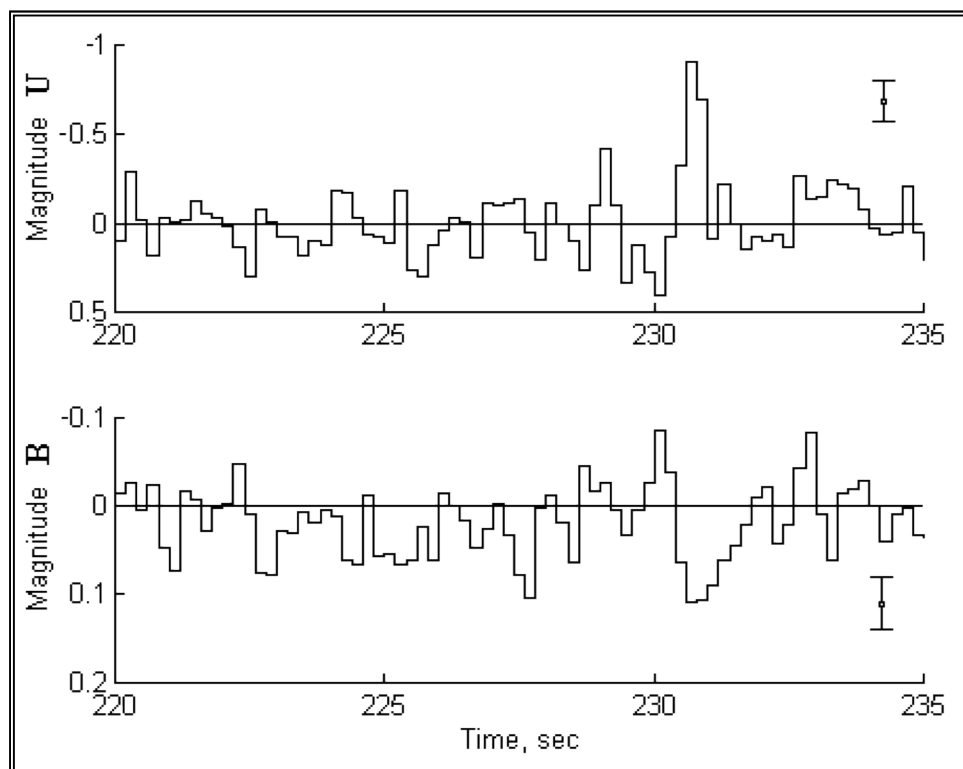


Рис. 3. EV Lac 4 августа 1995 г., 23:00 UT. U фильтр, пик Терскол (верхний), B фильтр, Белогоградчик (нижний)

3 Высоочастотные колебания оптического излучения вспышек звезд типа UV Ceti

На рис. 4 можно видеть вспышку звезды EV Lacertae, зарегистрированную синхронно 50-дюймовым телескопом в Крыму и 30-дюймовым телескопом обсерватории Стефанион в Греции 16 сентября 2004 г. На нижней части рисунка можно видеть колебания блеска вспышки с периодом около 20 секунд. Доказательство реальности этих колебаний было получено только в результате синхронных наблюдений на удаленных телескопах.

На основе аналогии между солнечными и звездными вспышками высоочастотные оптические колебания на EV Lac были интерпретированы как быстрые магнитно-акустические колебания корональных магнитных петель (Куприянова и др., 2004).

Было заключено, что пульсации оптического излучения генерируются модулированным потоком электронов, осаждаемых в основаниях вспышечной петли. В одном частном случае ординарной вспышки EV Lac температура плазмы оказалась равной $T \approx 3.7 \cdot 10^7$ К, плотность плазмы $N \approx 1.6 \cdot 10^{11}$ см⁻³, напряженность магнитного поля $B \approx 320$ G и длина петли $L \approx 10^{10}$ см, т. е. $L \approx 0.4 R_{\odot}$ (Куприянова и др., 2004). Таким образом, колебания во вспышках предоставили отличную возможность для оценивания таких свойств короны звезды, как плотность плазмы в районе вспышки, размер корональной петли, величина локального магнитного поля. Это

Некоторые итоги международных кампаний наблюдений...

позволило начать работы по корональной сейсмологии в рамках кооперации между Главными астрономическими обсерваториями в Голосеево и Пулково, КрАО и обсерватории на пике Терскол.

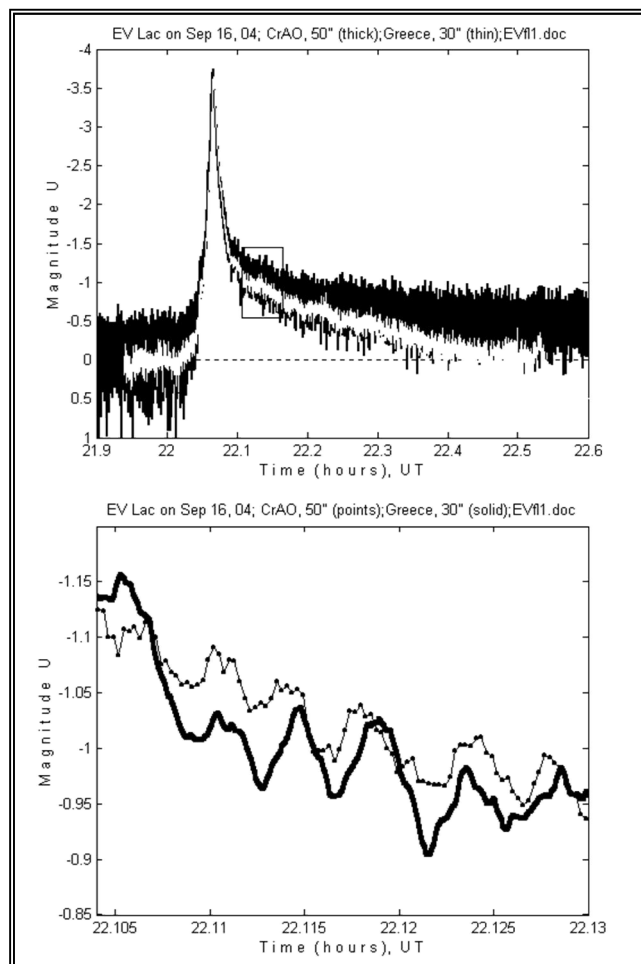


Рис. 4. Вспышка звезды EV Lacertae, зарегистрированная синхронно 50-дюймовым телескопом в Крыму и 30-дюймовым телескопом обсерватории Стефанион в Греции 16 сентября 2004 г.

4 Наблюдения активности вспыхивающей звезды EV Lac в спокойном состоянии

Ниже приводятся результаты быстрой спектрометрии EV Lac с временным разрешением 8 секунд. Наблюдения получены 30–31 мая 2010 г. с призми-спектрографом на телескопе Цейсс-600 на пике Терскол (Жиляев и др., 2010). В настоящей работе анализируется активность EV Lac в спокойном состоянии блеска, в отсутствии вспышек. Впервые показано, что EV Lac демонстрирует в спокойном состоянии вариации в Бальмеровских линиях водорода (H_β , H_γ , H_δ), CaII H, K (3933–3968 Å) и Бальмеровском континууме (3646 Å).

В бесщелевом спектрографе низкого разрешения в качестве диспергирующего элемента используется прозрачная дифракционная решетка. Роль входной щели спектрального прибора играет изображение звезды. Размер изображения определяет разрешающую силу прибора. Разрешающая сила такого прибора обычно составляет величину $R \sim 100$ (Тизи и др., 2008; Жиляев и др., 2010).

Бесщелевой спектрограф позволяет регистрировать непрерывный спектр в области $\sim 3500\text{--}9000 \text{ \AA}$ и неблендированные спектральные линии с эквивалентной шириной $\sim 1 \text{ \AA}$. Для слабых объектов из записи такого спектра можно получать оценки UBVR звездных величин, выполняя математическую свертку спектра с кривыми пропускания фильтров. Исключительной особенностью призми-спектрографа является возможность одновременного оценивания UBVR-величин с высоким временным разрешением. Помимо этого, призми-спектрограф позволяет измерять вариации в спектральных линиях и в непрерывном спектре.

30 и 31 мая 2010 г. было получено 779 и 428 снимков спектров с 8-секундным временным разрешением на телескопе Цейс-600 на пике Терскол. Усредненные образцы призми-спектров EV Lac и звезды сравнения (GSC 3226 640, $V = 10.69$, $Sp \sim F0V$) приведены на рис. 5.

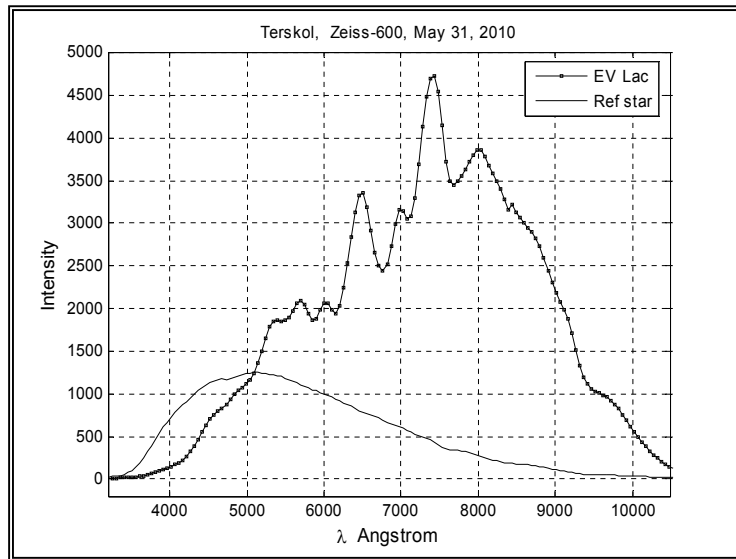


Рис. 5. Усредненные образцы спектров EV Lac и звезды сравнения

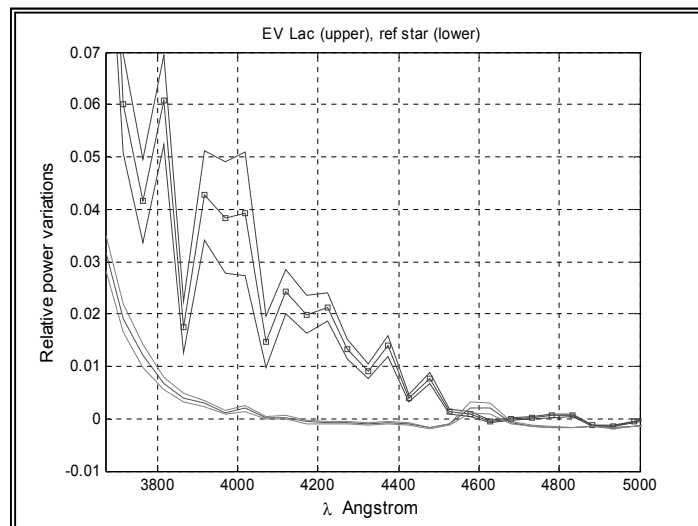


Рис. 6. Относительная мощность вариаций EV Lac и звезды сравнения. Показан $\pm 1 \sigma$ коридор ошибок

Некоторые итоги международных кампаний наблюдений...

EV Lac в спокойном состоянии проявляет эмиссию в Бальмеровских линиях с эквивалентной шириной в пределах 5–7 Å, Ca II H, K с эквивалентной шириной в пределах 7–13 Å (Алексеев и др., 2003).

На рис. 6 приведены графики мощности вариаций в спектрах звезд EV Lac и звезды сравнения. Из графиков можно видеть, что EV Lac демонстрирует в спокойном состоянии вариации в Бальмеровских линиях водорода (H_{β} , H_{γ} , H_{δ}), CaII H, K (3933–3968 Å) и Бальмеровском континууме (3646 Å).

Вариации в линиях водорода и кальция могут достигать 10% на интервалах времени несколько минут. Наши результаты подтверждают гипотезу, выдвинутую Алексеевым и др. (2003) о перманентно существующих микровспышках на EV Lac, дающих основной вклад в излучение Бальмеровских эмиссионных линий хромосферы звезды.

Литература

- Алексеев И.Ю., Барановский Э.А., Гершберг Р.Е., Ильин И.В., Петтерсен Б.П., Шаховской Д.Н., Яблонски М. // *Астрон. журнал*. 2003. Т. 80. С. 342.
- Гершберг Р.Е. // *Активность солнечного типа звезд главной последовательности*. Одесса. Астропринт. 2002. С. 430.
- Жиляев и др. (Zhilyaev B.E., Verlyuk I.A., Romanyuk Ya.O., Svyatogorov O.A., Konstantinova-Antova R.K., Antov A.P., Bachev R.S., Alekseev I.Yu., Chalenko V.E., and Shakhovskoy D.N.) // *Astron. Astrophys.* 1998. V. 334. P. 931.
- Жиляев Б.Е., Стеценко К.О., Сергеев А.В., Андреев М.В., Иванов Ю.С., Святогоров О.А. // *Кинем. и физ. небесн. тел.* 2010. Приложение № 6. С. 422.
- Калмин, Шаховской (Kalmin S.Yu., Shakhovskoy D.N.) // *Kinematika i Fizika Nebesnyh Tel.* 1995. V. 11. No. 3. P. 85.
- Кристалди и др. (Cristaldi S., Godoli G., Narbone M., Rodono M.) // In “Non-periodic Phenomena in Variable Stars”. Proc. IAU Coll. N 4. Budapest. 1969. P. 123.
- Куприянова и др. (Kouprianova Ye., Tsap Yu., Kopylova Yu. and Stepanov A.) // In: *Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity*. Proc. IAU Symposium No. 223. 2004. P. 391.
- Пиирола (Piirola V.) // *Observ. Astrophys. Lab. Univ. Helsinki Report*. 1984. No. 6. P. 151.
- Тизи и др. (Thizy Olivier, Buil Christian, Cochard François and Neiner Coralie) // *Planetary and Space Sci.* V. 56. Issue 14. November 2008. P. 1878.