

УДК 523.6

**Е. С. Шубина<sup>1</sup>, П. П. Корсун<sup>2</sup>, В. Л. Афанасьев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
ул. Владимирская 64/13, Киев, 01601

<sup>2</sup>Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680  
korsun@mao.kiev.ua

<sup>3</sup>Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук  
Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия, 369167  
vafan@sao.ru

### **Спектр кометы C/2009 P1 (Garradd) в оптическом диапазоне длин волн**

*Выполнен анализ спектров умеренного разрешения в диапазоне  $\lambda = 380...540$  нм, полученных для кометы C/2009 P1 (Garradd), когда она находилась на расстоянии 1.96 а. е. от Солнца и 1.36 а. е. от Земли. Наблюдения проводились в первичном фокусе 6-м телескопа БТА (САО РАН) с использованием фокального редуктора SCORPIO. Отождествлены эмиссии молекул  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $CN$ ,  $NH_2$ ,  $CH$ ,  $CH^+$  и  $CO^+$  в коме кометы. Всего зарегистрировано 148 эмиссионных деталей. Газопродуктивность молекул определена с помощью модели Хазера. Отношения газопродуктивностей равны  $lg[Q(C_2)/Q(CN)] = 0.26$  и  $lg[Q(C_3)/Q(CN)] = 1.09$ . Газопродуктивность молекулы  $C_2$  составляет  $4.84 \cdot 10^{26}$  мол/с, а  $C_3$  —  $2.16 \cdot 10^{25}$  мол/с.*

*СПЕКТР КОМЕТИ C/2009 P1 (GARRADD) В ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ, Шубіна О. С., Корсун П. П., Афанасьєв В. Л. — Виконано аналіз спектрів помірною розділення в діапазоні  $\lambda = 380...540$  нм, отриманих для комети C/2009 P1 (Garradd), коли вона перебувала на відстані 1.96 а. о. від Сонця і 1.36 а. о. від Землі. Спостереження проведено у первинному фокусі 6-м телескопа БТА (САО РАН) з використанням фокального редуктора SCORPIO. Ототожено емісії молекул  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $CN$ ,  $NH_2$ ,  $CH$ ,  $CH^+$  і  $CO^+$  у комі комети. Усього зареєстровано 148 емісійних деталей. Газопродуктивність молекул визначено за допомогою моделі Хазера. Відношення газопродуктивностей дорівнюють  $lg[Q(C_2)/Q(CN)] = 0.26$  і  $lg[Q(C_3)/Q(CN)] = 1.09$ . Газопродуктивність молекули  $C_2$  складає  $4.84 \cdot 10^{26}$  мол/с, а  $C_3$  —  $2.16 \cdot 10^{25}$  мол/с.*

*THE SPECTRUM OF COMET C/2009 P1 (GARRADD) IN OPTICAL WAVELENGTH REGION, by Shubina O. S., Korsun P. P., Afanasiev V. L. – An analysis of medium resolution spectra with  $\lambda = 380...540$  nm for comet C/2009 P1 (Garradd) was carried out. The observations of the comet were made on 21 March 2012, when it was at heliocentric and geocentric distances of 1.96 AU and 1.36 AU, respectively. The SCORPIO focal reducer attached to the prime focus of the 6-m BTA telescope was used. Emission features of the  $C_2$ ,  $C_3$ , CN,  $NH_2$ , CH,  $CH^+$ , and  $CO^+$  species in the cometary coma were identified. The total number of the detected emission features was 148. The gas production rates of the  $C_2$ ,  $C_3$ , and CN radicals were derived using the Haser model. The  $\lg[Q(C_2)/Q(CN)]$  and  $\lg[Q(C_3)/Q(CN)]$  gas production ratio was equal to 0.26 and  $-1.09$ , respectively. The gas production was  $4.84 \cdot 10^{26}$  mol/s for  $C_2$  molecule and  $2.16 \cdot 10^{25}$  mol/s for  $C_3$  molecule.*

## ВВЕДЕНИЕ

Комета C/2009 P1 (Garradd) была открыта Дж. Гарраддом (обсерватория Сайдинг-Спринг, Австралия) 13 августа 2009 г. [14]. Элементы орбиты кометы, в частности значение эксцентриситета равное 1.001, свидетельствуют, что она принадлежит к семейству динамически новых комет. В течение всего времени с момента открытия комета C/2009 P1 (Garradd) интенсивно наблюдалась с использованием разных методов.

Хадамчик и др. в работе [15] проводили исследования пылевой комы кометы с помощью поляризметрических методов. Анализировались данные, полученные в результате пяти дискретных наблюдений (21—22, 26 октября 2011 г., 22—25 января, 18—20 февраля и 17—20 марта 2012 г.) с использованием светофильтров ВС ( $\lambda_0 = 443$  нм,  $\Delta\lambda = 4$  нм), РС ( $\lambda_0 = 684$  нм,  $\Delta\lambda = 9$  нм), красного ( $\lambda_0 = 630$  нм,  $\Delta\lambda = 120$  нм) и инфракрасного ( $\lambda_0 = 900$  нм,  $\Delta\lambda = 300$  нм). Определено, что кома имеет почти круговую форму. Ее диаметр составляет 25000 км относительно оптического центра. Значение линейной поляризации в ближней ИК-области для центральной части комы составляло  $4.0 \pm 0.3$  %, диаметр апертуры составлял 12000 км. Установлено, что на локальном уровне это значение остается постоянным.

Группа Танигавы в работе [28] проводила фотометрические исследования кометы в широкополосных *BVRI*-полосах с сентября по ноябрь 2011 г. По их данным звездная величина в *V*-полосе варьировала в зависимости от даты. Показатели цвета  $B - V$  и  $V - R$  составили 0.88 и 0.55 соответственно.

Ситко и др. в работе [27] приводят результаты спектрофотометрии кометы, полученные за три даты (28—30 июля, 15 и 18 октября 2011 г., 27 марта 2012 г.), которые охватывают широкий круг гелио- и геоцентричных расстояний. Оказалось, что значение альбедо для данного объекта является немного меньше, чем у большинства комет на таких

же фазовых углах. Авторы связали этот факт с тем, что диаметр диафрагмы (4.0 ) был меньшим, чем в других подобных исследованиях.

Сделанные с помощью космического телескопа Хаббла ультрафиолетовые исследования кометы Гаррадд, которая перебивала на гелиоцентрическом расстоянии 1.59 а. е., анализировали Фелдман и др. в работе [12]. Акцентировалось внимание на соотношении CO/H<sub>2</sub>O, которое составляет примерно 20 % при газопроизводительности самой молекулы Q(H<sub>2</sub>O) = 10<sup>29</sup> мол/с. Поскольку эта оценка слегка превышает определенное ранее значение, данную комету следует относить к классу CO-насыщенных.

Используя данные ультрафиолетовых широкополосных наблюдений, выполненных космическим аппаратом SWIFT, Бодевитц и др. [8] изучали продолжительную активность кометы C/2009 P1. На расстоянии 8.5 а. е. от Солнца у неё была хорошо развита пылевая кома, на расстоянии 3.5 а. е. выброс пыли и газа составил несколько тонн за секунду и увеличивался до расстояния 2.5 а. е. Также отмечено увеличение истечения OH из кометы.

МакКей и др. в работе [22] изучали содержание атомов кислорода в кометах 103P/Hartley и C/2009 P1, сравнивая потоки в полосах CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в спектральном диапазоне = 350...1000 нм. Показано, что данные кометы есть CO<sub>2</sub>-обогащенными, и что при уменьшении гелиоцентрического расстояния отношение CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O уменьшается, поскольку скорость сублимации H<sub>2</sub>O увеличивается быстрее, чем соответствующая скорость для CO<sub>2</sub>.

Инфракрасные исследования кометы C/2009 P1, которая была на геоцентрическом расстоянии 2.1 а. е., с использованием спектрометров высокой разрешающей способности проводили Виллануэва и др. в работе [29]. Зарегистрированы сильные эмиссии H<sub>2</sub>O, CO, CH<sub>4</sub> и HCN, а также — на верхнем пределе чувствительности приборов — эмиссии C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> и HC<sub>3</sub>N. Рассчитаны пространственные профили для молекул H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> и HCN. Исходя из этих результатов, указано на избыток воды в направлении на Солнце.

Похожие на предыдущие результаты получили Боис и др. в работе [7] при наблюдениях в ИК-диапазоне. Комета изучалась с помощью телескопа Кека 9 и 10 января, 1 февраля и 4 апреля 2012 г., когда она прошла перигелий. Были зарегистрированы следующие родительские молекулы: H<sub>2</sub>O, HCN, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>CO, CH<sub>3</sub>OH, CH<sub>4</sub> и C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

Бивер и др. в работе [6] проводили молекулярные исследования кометы в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн. Зарегистрированы молекулярные эмиссии CO, CH<sub>3</sub>OH, H<sub>2</sub>CO, H<sub>2</sub>S, HCN, CS, CH<sub>3</sub>CN, HNC, HNCO, H<sub>13</sub>CN, HCO. В результате анализа распределения и газопроизводительности молекул вычислено содержание данных веществ: H<sub>2</sub>O : CO : CH<sub>3</sub>OH : H<sub>2</sub>CO : H<sub>2</sub>S : CN : CS : CH<sub>3</sub>CN : HNC = 100 : 10 : 1.6 : 0.3 : 0.5 : 0.11 : 0.04 : 0.011 : 0.0025.

В работе Фарнхам и др. [11] анализируются данные, полученные с 20 февраля по 7 марта 2012 г. с дополнительными наблюдениями с

25 марта по 8 апреля 2012 г. в широкополосном фильтре и кометных фильтрах (CN, OH, C<sub>2</sub>), когда комета была на расстоянии порядка 1.9 а. е. от Солнца. Одним из результатов стало определение фотометрического параметра  $Afr$  и газопроизводительности молекул CN и OH. Средние значения газопроизводительности, полученные для апертуры 50 на 23 февраля, 6 марта, 6 апреля, составляют  $2.3 \cdot 10^{28}$ ,  $1.9 \cdot 10^{28}$  и  $1.4 \cdot 10^{28}$  мол/с для OH и  $3.2 \cdot 10^{26}$ ,  $2.7 \cdot 10^{26}$  и  $1.5 \cdot 10^{26}$  мол/с для CN. Значения параметра  $Afr$  для этих дат составляют 3657, 3270 и 2946 см ( $\pm 5\%$ ) соответственно.

Итак, исследования показывают, что комета C/2009 P1 (Garradd) обогащена молекулами CO.

## НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения кометы C/2009 P1 (Garradd) были проведены с 20 на 21 марта 2012 г. с помощью 6-м телескопа БТА (Специальная астрофизическая обсерватория РАН). На момент наблюдений комета прошла перигелий и находилась на расстоянии 1.96 а. е. от Солнца и 1.36 а. е. от Земли, а ее интегральная звездная величина была равна 10.0<sup>m</sup>. Данные получены с помощью универсального редуктора светосилы SCORPIO [2], установленного в первичном фокусе телескопа. В качестве приемника использовалась ПЗС-матрица EEVCCD42-40. Размер матрицы составляет 2048 2048 пкл, а размер одного пикселя — 16 16 мкм (6.1 6.1 и 0.18 0.18 соответственно). Спектральные наблюдения кометы были проведены в режиме «длинная щель». При этом ширина щели составляла 0.5 . С использованием спектральной решетки VPHG 1200В получено девять двумерных спектров кометы в спектральном интервале 380—540 нм. Разрешающая способность полученных спектров составляет 0.15 нм, экспозиция — 300 с. В табл. 1 приведены даты наблюдений и зенитные расстояния.

Необходимо отметить, что в период наблюдений погодные условия не были безупречно фотометрическими, поэтому все наши измерения проводились в относительной шкале интенсивностей.

**Таблица 1. Журнал наблюдения кометы C/2009 P1 (Garradd)**

Номер	Дата, март 2012 г. (UT)	z, град
1	20.9882	36.5
2	20.9922	37.1
3	20.9963	37.7
4	21.0012	38.4
5	21.0060	39.1
6	21.0112	39.8
7	21.0161	40.5
8	21.0205	41.1
9	21.0542	46.0

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Первичные редукции, которые включают в себя вычитание электронного смещения, коррекцию за плоское поле, компенсацию пространственной кривизны спектральных линий, привязку к длинам волн и представление данных с равномерным шагом по шкале длин волн, сделаны с помощью специального программного обеспечения, разработанного в Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Для оценки уровня спектра ночного неба использован спектр неба, который наблюдается на кадрах с изображением звезды-стандарта.

Наблюденные спектры звезды-стандарта BD33d2642 [23] использовались для учета влияния атмосферы и чувствительности приемника:

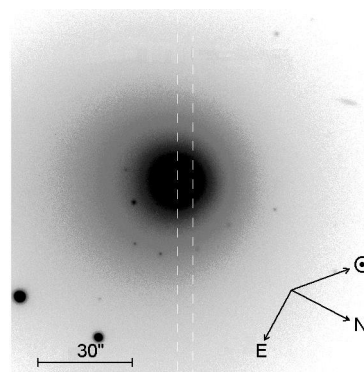
$$F_c = F_{st}(\lambda) \frac{I_c(\lambda)}{I_{st}(\lambda)} p(\lambda)^M, \quad (1)$$

где  $F_c$  и  $F_{st}$  — внеатмосферные значения потоков от кометы и звезды-стандарта соответственно,  $I_c$  и  $I_{st}$  — наблюдаемые значения от кометы и звезды-стандарта соответственно,  $p(\lambda)$  — спектральный коэффициент пропускания земной атмосферы,  $M$  — разница воздушных масс кометы и звезды-стандарта. Во время наблюдения комета сдвигалась по щели, поэтому получены спектры от разных частей комы. Суммарная проекция щели на кому кометы показана на рис. 1. Для повышения соотношения сигнал/шум и исключения следов космических частиц, кадры были просуммированы с помощью алгоритма робастного усреднения. Общий вид двумерного подготовленного к анализу спектра кометы представлен на рис. 2.

Для анализа распределения энергии в спектре кометы и поиска возможных молекулярных эмиссий получен одномерный спектр путем суммирования по пространственной координате.

Для выделения эмиссионного спектра кометы был компенсирован непрерывный спектр кометы путем вычитания модифицированного спектра Солнца от кометного спектра. Для обработки был взят спектр Солнца высокого разрешения из атласа [19]. Он был приведен к разрешению кометного спектра с использованием функции Гаусса, имею-

Рис. 1. Проекция щели спектрографа на комету



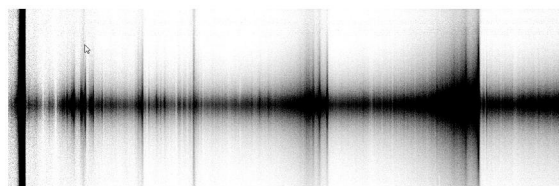


Рис. 2. Двумерный спектр кометы

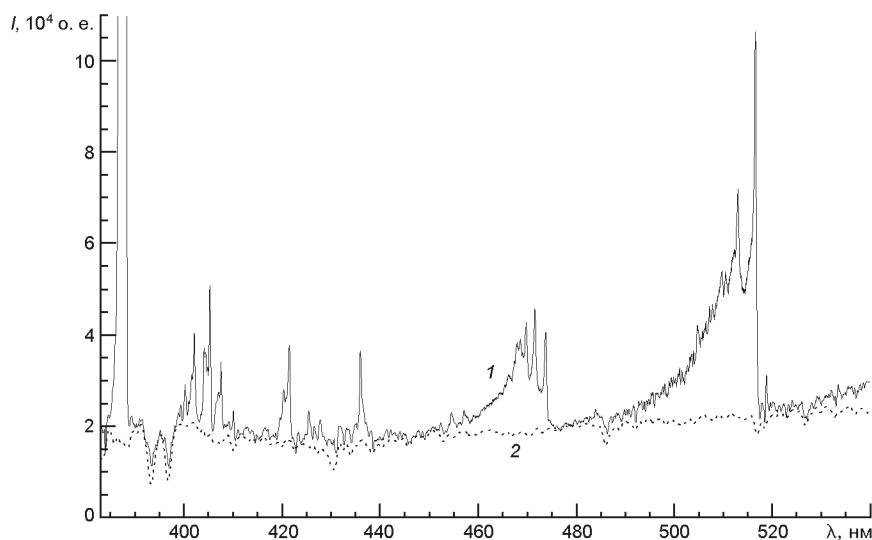


Рис. 3. Оценка кометного континуума. Сплошная кривая — наблюдаемый спектр кометы, штриховая кривая — подобранный континуум

щей соответствующую полуширину профиля. Солнечный спектр масштабировался таким образом, чтобы его уровень был как можно ближе к нижней границе кометного спектра в спектральных промежутках, где преобладает континуум. Дополнительно была введена и поправка за эффект покраснения. Результаты оценки кометного континуума представлены на рис. 3.

После этих модификаций шкала длин волн была исправлена за эффект Доплера (0.07 нм в синей области и 0.097 нм — в красной).

## АНАЛИЗ СПЕКТРА КОМЕТЫ

**Отождествление молекулярных эмиссий.** Для отождествления эмиссий в спектре данной кометы рассчитывались теоретические спектры каждой отдельной молекулы, а также использовались лабораторные спектры молекул, наблюдавшиеся ранее в спектрах других комет (рис. 4).

Теоретические интенсивности вращательных линий молекул рассчитаны в приближении термодинамического равновесия. Это приближение дает возможность описывать заселенность вращательных и колебательных уровней с помощью распределения Больцмана, изме-

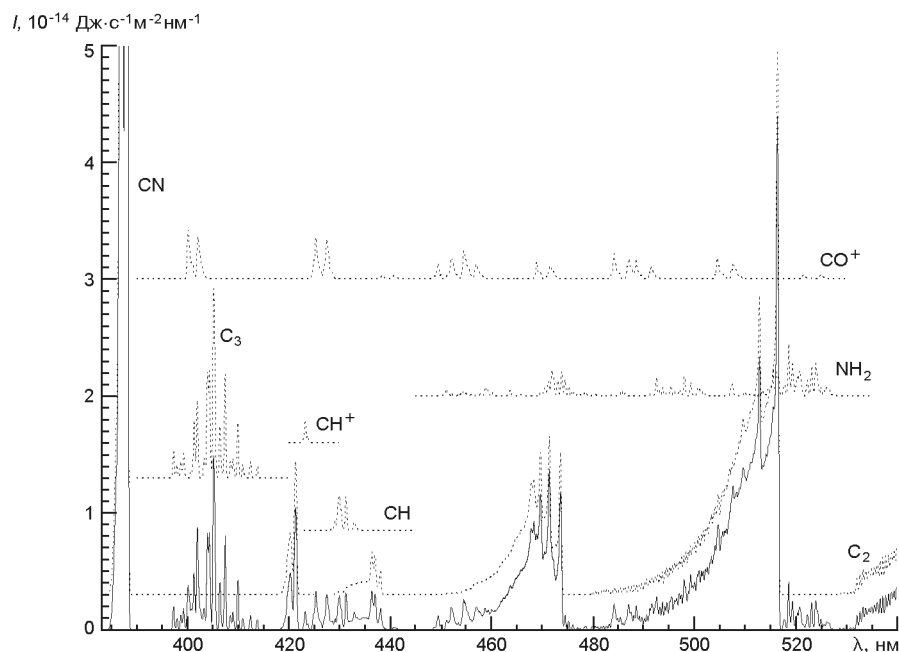


Рис. 4. Рассчитанные спектры наблюдаемых молекул (пунктирные кривые) и суммарный рассчитанный молекулярный спектр (сплошная кривая)

няя значение вращательной и колебательной температур. Для таких расчетов вращательная и колебательная температуры являются модельными параметрами и не являются характеристикой физического состояния кометного вещества. Несмотря на это, данное приближение не раз использовалось для отождествления кометных эмиссий [4, 5, 18].

Были отождествлены эмиссии, принадлежащие ряду молекул (рис. 5). Наиболее интенсивными являются эмиссии молекул CN, C<sub>2</sub> и C<sub>3</sub>. Подробный анализ отождествлений приведен ниже. Общая статистика эмиссий отождествленных в спектре кометы представлена в табл. 2, а детальный список эмиссий — в табл. 3. Измеренные интенсивности молекулярных эмиссий приведены в относительной шкале.

**CN.** В синей части спектра мы отождествили колебательную полосу фиолетовой системы молекулы CN. Система соответствует электронному переходу  $B^2 + X^2 +$ . Для этой молекулы теоретический спектр был построен с помощью программы LIFBASE [21], которая используется для расчета спектров некоторых двухатомных молекул. Данный спектр имел недостаточное разрешение, чтобы разделить вращательную структуру полосы, и мы смогли определить только длины волн кантов полос (0 0) и (0 1).

**CH.** Эмиссии молекулы CH отождествлены в синей части спектра. Выделены шесть эмиссионных деталей, принадлежащих электронному переходу  $A^2 - X^2$ . Отождествление проводилось на основе ранее опубликованных спектров из работы [1].

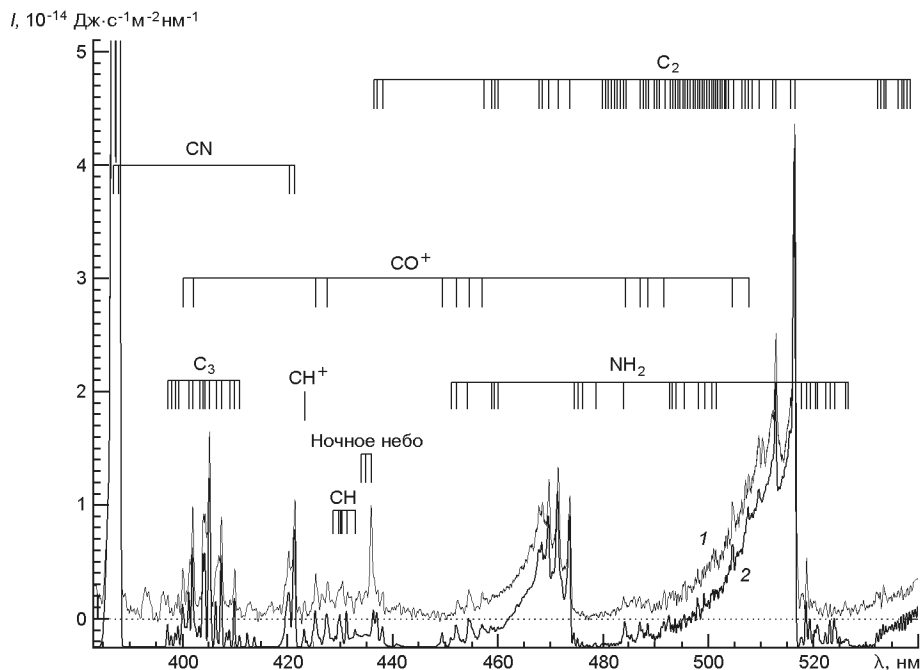


Рис. 5. Спектральные детали, отождествленные в спектре кометы C/2009 P1 (Garrad). Верхняя кривая — наблюдаемый спектр кометы, внизу — вычисленный спектр

Таблица 2. Общая статистика отождествленных молекул

Молекула	Количество эмиссий	Молекула	Количество эмиссий
C <sub>2</sub>	74	CH	6
C <sub>3</sub>	15	CH <sup>+</sup>	1
NH <sub>2</sub>	31	CN	4
CO <sup>+</sup>	14	Всего	148

**CH<sup>+</sup>.** Отождествлена одна эмиссия электронного перехода  $A^1 - X^1$  иона CH<sup>+</sup>. Спектр был рассчитан по данным [9].

**C<sub>3</sub>.** В окрестности  $\lambda = 400$  нм нами была отождествлена группа эмиссий C<sub>3</sub>. Структура полосы — сложная, и при моделировании сильно зависит от начальных условий. Выделено 15 спектральных деталей. Для отождествления использовались данные [1, 13].

**C<sub>2</sub>.** Мы выделили три колебательные системы полос Свана молекулы C<sub>2</sub> ( $\nu = +1$ ,  $\nu = 0$  и  $\nu = -1$ ). Все они принадлежат электронному переходу  $A^3_g - X^3_u$ . Спектральное разрешение наблюдаемых данных не дает возможность полностью разделить вращательную структуру полос, поэтому отождествлено часть эмиссионных деталей и канты колебательных полос. Теоретический спектр для данной системы полос был рассчитан с использованием лабораторного списка линий из работы [24]. Общее количество отождествленных спектральных деталей — 74.

**CO<sup>+</sup>.** В спектре кометы были зарегистрированы эмиссии иона CO<sup>+</sup>. Они соответствуют колебательным переходам 4 2, 3 2, 3 0, 2 0, 1 0,



Таблица 3. Спектральные линии, отождествленные в спектре кометы C/2009 P1 (Garradd)

$obs$ , нм	$I_{obs}$	$cal$ , нм	Молекула	Колебательный переход	Электронный переход
386.97	1247.28	387.00	CN	0 0	$B^2 + X^2 +$
388.00	1852.18	387.95	CN	0 0	$B^2 + X^2 +$
397.25	20.53	397.25	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
397.97	9.26	397.95	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
398.80	14.33	398.70	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
399.25	21.49	399.25	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
400.10	44.52	400.15	$CO^+$	3 0	$A^2 X^2$
401.45	32.42	401.30	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
402.00	98.76	401.95	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
		402.10	$CO^+$	3 0	$A^2 - X^2$
403.35	19.78	403.30	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
404.05	92.62	403.95	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
404.35	92.62	404.35	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
405.20	164.63	405.20	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
406.50	44.98	406.45	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
407.44	89.6	407.45	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
409.10	16.61	409.00	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
410.00	43.99	409.90	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
410.90	9.98	410.90	$C_3$		$A^1_u X^1_{1g}$
420.25	59.74	420.30	CN	0 1	$B^2 + X^2 +$
421.40	104.7	421.35	CN	0 1	$B^2 + X^2 +$
423.25	15.47	423.25	$CH^+$	0 0	$1 1$
425.35	3961	425.30	$CO^+$	2 0	$A^2 X^2$
427.60	32.59	427.50	$CO^+$	2 0	$A^2 X^2$
429.80	25.94	429.73	CH	0 0	$A^2 X^2$
430.15	28.04	430.02	CH	0 0	$A^2 X^2$
430.50	33.34	430.39	CH	0 0	$A^2 X^2$
431.44	23.53	431.32	CH	0 0	$A^2 X^2$
433.00	17.82	432.90	CH	0 0	$A^2 X^2$
433.65	24.09	433.92	Линия неба		
434.91	24.64	434.79	Линия неба		
435.90	99.41	435.88	Линия неба		
436.45	36.58	436.40	$C_2$	4 2	$A^3_g - X^2_u$
437.15	25.05	437.05	$C_2$	3 1	$A^3_g - X^2_u$
438.15	23.54	438.10	$C_2$	2 0	$A^3_g - X^2_u$
449.45	5.19	449.45	$CO^+$	4 2	$A^2 X^2$
451.15	5.53	451.15	$NH_2$	15 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
452.34	16.03	452.11	$CO^+$	4 2	$A^2 X^2$
		452.15	$NH_2$	15 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
454.00	11.64	454.15	$NH_2$	15 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
454.49	25.84	454.50	$CO^+$	1 0	$A^2 X^2$
457.05	23.79	457.00	$CO^+$	1 0	$A^2 X^2$
		457.30	$C_2$	$v = +1$	$A^3_g - X^2_u$
459.00	21.05	458.78	$NH_2$	15 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
		458.80	$C_2$	$v = +1$	$A^3_g - X^2_u$
459.46	20.81	459.30	$NH_2$	15 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
		459.35	$C_2$	$v = +1$	$A^3_g - X^2_u$
459.90	20.84	460.00	$NH_2$	15 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
		460.05	$C_2$	$v$	$A^3_g - X^2_u$

Продолжение табл. 3

$obs$ , нм	$I_{obs}$	$cal$ , нм	Молекула	Колебательный переход	Электронный переход
467.80	99.70	467.85	C <sub>2</sub>	5 4	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
468.45	102.59	468.40	C <sub>2</sub>	4 3	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
469.70	123.07	469.65	C <sub>2</sub>	3 2	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
471.45	133.76	471.40	C <sub>2</sub>	2 1	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
473.65	108.18	473.60	C <sub>2</sub>	1 0	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
474.42	9.05	474.50	NH <sub>2</sub>	14 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
475.26	6.17	475.20	NH <sub>2</sub>	14 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
476.00	6.33	476.05	NH <sub>2</sub>	14 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
478.60	4.41	478.60	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
479.70	6.23	479.85	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
480.45	6.57	480.45	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
480.90	4.89	480.95	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
481.70	6.26	481.55	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
482.10	8.25	482.10	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
482.80	10.15	482.65	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
483.35	9.38	483.20	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
483.90	19.35	483.80	NH <sub>2</sub>	14 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
		483.80	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
484.25	14.50	484.30	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		484.15	CO+	0 0	A <sup>2</sup> X <sup>2</sup>
486.95	19.39	487.05	CO+	0 0	A <sup>2</sup> X <sup>2</sup>
		487.05	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
487.65	12.95	487.55	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
488.10	15.71	488.10	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
488.55	17.16	488.60	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		488.50	CO+	3 2	A <sup>2</sup> X <sup>2</sup>
489.65	12.83	489.65	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
490.20	13.75	490.20	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
490.70	15.71	490.65	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
491.60	25.03	491.50	CO <sup>+</sup>	3 2	A <sup>2</sup> X <sup>2</sup>
		491.70	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
492.64	23.11	492.70	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		492.55	NH <sub>2</sub>	13 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
493.25	24.79	493.25	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		493.10	NH <sub>2</sub>	13 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
493.70	24.22	493.70	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		493.80	NH <sub>2</sub>	13 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
494.25	21.52	494.20	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
494.65	20.62	494.60	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
495.20	30.49	495.15	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		495.40	NH <sub>2</sub>	13 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
495.55	33.15	495.55	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		495.40	NH <sub>2</sub>	13 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
496.20	29.33	496.10	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
496.55	29.24	496.50	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
497.10	28.69	497.05	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
497.55	36.38	497.45	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
497.95	43.98	497.95	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>
		498.05	NH <sub>2</sub>	13 0	A <sup>2</sup> A <sup>1</sup> <sub>1</sub> - X <sup>2</sup> B <sup>1</sup> <sub>1</sub>
498.40	34.42	498.30	C <sub>2</sub>	$\nu=0$	A <sup>3</sup> <sub>g</sub> - X <sup>2</sup> <sub>u</sub>

Окончание табл. 3

$\lambda_{obs}$ , нм	$I_{obs}$	$\lambda_{cal}$ , нм	Молекула	Колебательный переход	Электронный переход
498.85	43.19	498.80	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
499.30	45.91	499.20	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
		499.30	NH <sub>2</sub>	13 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
499.75	48.53	499.70	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
500.11	50.05	50.10	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
500.60	55.75	500.60	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
		500.70	NH <sub>2</sub>	13 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
500.95	61.97	500.95	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
		500.70	NH <sub>2</sub>	13 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
501.40	60.93	501.40	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
		501.45	NH <sub>2</sub>	13 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
501.80	51.64	501.70	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
502.25	56.24	502.20	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
502.60	60.11	502.55	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
503.05	67.78	503.05	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
503.40	72.82	503.40	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
503.80	79.76	503.80	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
504.55	103.13	504.75	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
		504.50	CO <sup>+</sup>	1 1	$A^2 - X^2$
506.30	104.56	506.30	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
507.05	122.41	507.00	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
507.70	127.49	507.65	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
		507.70	CO <sup>+</sup>	1 1	$A^2 - X^2$
508.35	125.84	508.30	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
509.60	161.19	509.65	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
512.10	183.25	512.20	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
512.85	251.45	512.85	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
515.60	194.36	515.55	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
516.45	436.08	516.40	C <sub>2</sub>	$\nu = 0$	$A^3_g - X^2_u$
517.85	22.43	517.70	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
518.65	53.38	518.60	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
519.40	17.03	519.40	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
520.30	15.43	520.35	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
520.70	8.07	520.75	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
522.26	13.35	522.25	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
523.15	12.95	523.15	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
523.90	10.58	523.95	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
525.95	15.88	526.10	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
526.75	9.61	526.60	NH <sub>2</sub>	12 0	$A^2A^1 - X^2B^1$
532.05	22.58	532.10	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
532.65	23.27	532.70	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
533.30	29.92	533.25	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
533.70	22.02	533.80	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
536.10	24.59	536.10	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
536.65	28.49	536.70	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
537.20	22.24	537.20	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
537.75	26.99	537.75	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$
538.40	29.45	538.35	C <sub>2</sub>	$\nu = 1$	$A^3_g - X^2_u$

1 1 и 0 0 электронного перехода  $A^2 - X^2$ . Обнаружено 14 эмиссий. В качестве опорного лабораторного спектра использовались данные [17].

**$NH_2$ .** Отождествлено эмиссии молекулы  $NH_2$  в наблюдаемом спектре кометы. Электронный переход, которому соответствует данная система полос, —  $A^2A^1 - X^2B^1$ . Отождествление эмиссий опиралось на лабораторные измерения [10]. Данные эмиссии молекулы принадлежат колебательным полосам (0,15,0), (0,14,0), (0,13,0) и (0,12,0). Всего была выделена 31 эмиссию.

Линии неба, кроме молекулярных эмиссий, принадлежащих комете в наблюдаемом спектре, видны атмосферные эмиссии ночного неба. Обнаружены три таких спектральные детали, которые принадлежат Hg и Na.

**Оценка газопроизводительности молекул.** Для оценки газопроизводительности нами была использована модель Хазера, описанная в работе [16]. В модели делается предположение, что ядро кометы — точечный источник вещества, которое поступает в кому равновероятно во всех направлениях и с постоянной скоростью. В рамках данной модели количество молекул на луче зрения в столбе с единичным сечением выражается формулой

$$N(x) = \frac{Q}{2v} \frac{l_d}{l_p} \exp\left(-\frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{l_p}\right) \exp\left(-\frac{\sqrt{x^2 + z^2}}{l_d}\right) \frac{dz}{x^2 + z^2}, \quad (2)$$

где  $Q$  — газопроизводительность излучаемого вещества,  $v$  — скорость его истечения,  $l_p, l_d$  — характерные масштабы для родительских и дочерних молекул,  $x$  — расстояние от ядра кометы в проекции на небесную сферу,  $z$  — расстояние вдоль луча зрения.

Из наблюдений известны потоки энергии в столбе на луче зрения. Поскольку преобладающим механизмом излучения молекулярных эмиссий есть резонансная флуоресценция, то для того чтобы перевести наблюдательные потоки  $F(x)$  (1) в число молекул на луче зрения в столбе с единичным сечением  $N(x)$  (2), можно использовать известное значение эффективности флуоресценции ( $g$ -фактор) для соответственных спектральных переходов. В этом случае корректным будет соотношение

$$N(x) = \frac{4}{g} \frac{F(x)}{\Omega}. \quad (3)$$

Множитель  $g/4$  соответствует количеству энергии, переизлученной одной молекулой за секунду в телесный угол, который равен одному стерадиану,  $\Omega$  — телесный угол, который определяет проекцию единичного элемента приемника излучения на небесную сферу.

Получив значение абсолютных потоков от кометы и определив количество молекул на луче зрения в столбе с единичным сечением по формуле (3), можно определить искомую величину газопроизводительности, сравнивая наблюдательное количество молекул с соответ-

**Таблица 4. Параметры, которые использовались для определения газопроизводительности (для  $r = 1$  а. е.), и их зависимость от гелиоцентрического расстояния**

Молекула	$g, 10^{-20}$ Дж·с <sup>1</sup> ·мол <sup>-1</sup>	$l_p, 10^4$ км	$l_{ds}, 10^4$ км
CN (0 0)	$4.9 \cdot r^{-2}$	$3.0 \cdot r^{1.3}$	$19.9 \cdot r^{0.6}$
C <sub>3</sub>	$10 \cdot r^{-2}$	$0.6 \cdot r^{0.8}$	$8.9 \cdot r^{2.8}$
C <sub>2</sub> (0 0)	$2.2 \cdot r^{-2}$	$3.5 \cdot r^{1.4}$	$4.2 \cdot r^{2.0}$

ствующими значениями, рассчитанными по модели Хазера.

Оцениваемые значения газопроизводительности в значительной степени зависят от используемых модельных параметров. Мы использовали набор модельных параметров (табл. 4), который основывается на результате недавнего тщательного анализа длиннощелевых спектров 26 комет, принадлежащих к различным динамическим группам, из работы [20].

Поскольку  $g$ -фактор для полосы CN (0 0) зависит еще и от гелиоцентрической скорости, то его значение на момент наблюдения уточнялось с использованием расчетов, выполненных в работе [25]. Для скорости истечения газа принималось значение 1 км/с, которое используется в большинстве подобных расчетов.

Поскольку измерения проводились в относительной энергетической шкале, то отношение газопроизводительностей не зависят от нуля-пункта в шкале интенсивностей. Мы определили отношение  $Q(X)/Q(CN)$ . Получены следующие значения соотношений газопроизводительностей зарегистрированных молекул для  $r = 1.96$  а. е. ( $\lg r = 0.29$ ):  $\lg[Q(C_3)/Q(CN)] = -1.09$  и  $\lg[Q(C_2)/Q(CN)] = 0.26$ .

## ВЫВОДЫ

На основе наблюдательных данных кометы C/2009 P1 (Garradd) и теоретических спектров молекул проведено отождествление эмиссий в кометном спектре. Зарегистрировано 148 спектральных деталей, принадлежащих молекулам CN, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, CH, CH<sup>+</sup>, NH<sub>2</sub> и CO<sup>+</sup>. Наиболее выражены по интенсивности полосы CN и C<sub>2</sub>. Выделение достаточно заметных эмиссий CO<sup>+</sup> служит подтверждением, что комета является СО-обогащенной, на что указывают результаты других исследователей.

В результате анализа полученных спектров измерены потоки в зарегистрированных эмиссиях. С помощью модели Хазера оценено соотношение газопроизводительностей молекул  $Q(C_2)/Q(CN)$  и  $Q(C_3)/Q(CN)$ . Сравнивая наши результаты с данными исследований из работы [20], можно сделать вывод, что полученные нами соотношения газопроизводительностей наиболее близки к данным для семейства динамически новых комет, что соответствует классификации данной кометы.

Согласно результатам [20] для динамически новых комет характерны средние значения  $\lg[Q(C_3)/Q(CN)] = 0.9$  и  $\lg[Q(C_2)/Q(CN)] = 0.2$ . Наша оценка  $\lg[Q(C_3)/Q(CN)] = 1.09$  хорошо согласуется с этими данными, а оценка  $\lg[Q(C_2)/Q(CN)] = 0.26$  несколько выше, чем оценки, полученные в работе [3] из анализа фотометрических наблюдений 85 комет. Эти расхождения вполне объяснимы, поскольку вычисленные газопроизводительности — модельно зависимые величины, что показано в работе [26].

В упомянутой выше работе [11] на основе фотометрических данных оценена газопроизводительность молекулы CN именно в тот период, когда были получены наши данные. Имея данные на 6 марта и 6 апреля 2012 г., мы проинтерполировали эти цифры на момент наших наблюдений и получили оценку газопроизводительности молекулы CN, которая составила  $2.66 \cdot 10^{26}$  мол/с. Используя полученные соотношения газопроизводительностей, мы оценили газопроизводительности и для молекул  $C_2$  и  $C_3$  —  $4.84 \cdot 10^{26}$  и  $2.16 \cdot 10^{25}$  мол/с соответственно.

1. Добровольский О. В. Кометы. — М.: Наука, 1996.—288 с.
2. Afanasiev V. I., Moiseev A. V. The SCORPIO universal focal reducer of the 6-m telescope // Astron. Lett.—2005.—**31**.—P. 94—204.
3. A'Hearn M. F., Millis R. L., Schleicher D. G., et al. The ensemble properties of comets: Results from narrowband photometry of 85 comets, 1976—1992 // Icarus.—1995.—**118**.—P. 223—270.
4. Arpigny C. Comet spectra // Comets. Scientific data and missions. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1972.—P. 84—111.
5. Arpigny C. Interpretation of comet spectra // The study of comets. — U.S. Government Printing Office, 1976.—P. 797—838.
6. Biver N., Bockelee-Marvan D., Lis D. C., et al. Molecular survey of comet C/2009 P1 (Garradd) at mm to submm wavelengths // 2012. — <http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6330B/>.
7. Boice D. C., Kawakita H., Kobayashi H., et al. The coma chemistry of comet C/2009 P1 (Garradd) // 2012. — <http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6365B/>.
8. Bodewits D., Farnham T. L., A'Hearn M. F., Landsman W. B. SWIFT observations of the long term activity of comet C/2009 P1 (Garradd) // 2012. — <http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6084B/>.
9. Douglas A. E., Herzberg G. Band spectrum and structure of the  $CH^+$  molecule: Identification of three interstellar lines // Can. J. Res.—1942.—**20**.—P. 71—82.
10. Dressler K., Ramsay D. A. The electronic absorption spectra of  $NH_2$  and  $ND_2$  // Phil. Trans. Roy. Soc. London A.—1959.—**251**.—P. 553—604.
11. Farnham T., Bodewits D., A'Hearn M. F., Feaga L. M. Deep impact MRI observations of comet Garradd (C/2009 P1) // Bull. Amer. Astron. Soc.—2012.—506.05.
12. Feldman P. D., Weaver H. A., A'Hearn M. F., et al. Ultraviolet spectroscopy comet C/2009 P1 (Garradd) with the Hubble space telescope // 2012. — <http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6165F/>.
13. Gausset L., Herzberg G., Lagerqvist A., Rosen B. Analysis of the 4050 Å group of the  $C_3$  molecule // Astrophys. J.—1965.—**142**.—P. 45—76.
14. Green D. W. E. Comet C/2009 P1 (Garradd) // CBET.—2009.—N 1908.
15. Hadamcik E., Sen A. K., Levasseur-Regourd A. C., et al. Observations of the dust coma of comet C/2009 P1 (Garradd) by imaging polarimetry // 2012. — <http://labs.adsabs>.

- harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6200H/.
16. *Haser L.* Distribution d'intensite dans la tete d'une comete // Bull. Acad. Roy. Belg., Classe des Sci.—1957.—**43**.—P. 740—750.
  17. *Kim S. J.* Ultraviolet and visible spectroscopic database for atoms and molecules in celestial objects // J. Korean Astron. Soc.—1994.—**9**.—P. 111—166.
  18. *Korsun P. P., Lipatov S. V.* Spectroscopic observations of comet P/Brosen — Metcalf in the 3500–7550 Å wavelength region // Planet. and Space Sci.—1993.—**41**, N 9.—P. 669—675.
  19. *Kurucz R. L., Furenlid I., Brault J., Testerman L.* Solar flux atlas from 296 to 1300 nm. — Sunspot, New Mexico: National Solar Observatory, 1984.—239 p.
  20. *Langland-Shula L. E., Smith G. H.* Comet classification with new methods for gas and dust spectroscopy // Icarus.—2011.—**213**.—P. 280—322.
  21. *Luque J., Crosley D. R.* LIFBASESRI // Int. Report MP 99–009.
  22. *McKay A. J., Chanover N. J., DiSanti M. A., et al.* Using atomic oxygen as a proxy for CO<sub>2</sub> production in comets: Application to comets 103P/Hartley and C/2009 P1 Garradd // 2012. — <http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6212M/>
  23. *Oke J. B.* Faint spectrophotometric standard stars // Astron. J.—1990.—**99**.—P. 1621—1631.
  24. *Phillips J. G., Davis S. P.* The Swan system of the C<sub>2</sub> molecule. — Berkeley and Los Angeles: Univ. California Press, 1968. p.
  25. *Schleicher D. G.* The fluorescence efficiencies of the CN violet bands in comets // Astron. J.—2010.—**140**.—P. 973—984.
  26. *Schulz R.* Compositional coma investigations: Gas and dust production rates in comets // Proc. IAU Symp.—2005.—**229**.—P. 413—423.
  27. *Sitko M. L., Russell R. W., Woodward C. E., et al.* The grain albedo of comet C/2009 P1 (Garradd) // 2012.—<http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2013LPI...44.1154S/>.
  28. *Tanigawa M., Taniguchi T., Terao M., et al.* Photometric observations of comet C/2009 P1 (Garradd) // 2012.—<http://labs.adsabs.harvard.edu/adsabs/abs/2012LPICo1667.6075T/>.
  29. *Villanueva G. L., Mumma M. J., DiSanti M. A., et al.* A multi-instrument study of Comet C/2009 P1 (Garradd) at 2.1 AU (pre-perihelion) from the Sun // Icarus.—2012.—**220**.—P. 291—295.

Статья поступила в редакцию 27.03.14