СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМЕТ, ОБОГАЩЕННЫХ ЛЬДАМИ CO И N_2, НА 6-м ТЕЛЕСКОПЕ БТА

П. П. Корсун[1], В. Л. Афанасьев[2], А. В. Иванова[1]

[1] *Главная астрономическая обсерватория НАН Украины*
ул. Академика Заболотного 27, 03680 ГСП, Киев
e-mail: korsun@mao.kiev.ua

[2] *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
Нижний Архыз, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская республика, Россия 369167
e-mail: vafan@sao.ru

Представлены результаты спектральных наблюдений комет 29P/Schwassmann–Wachmann 1 и C/2002 VQ94 (LINEAR), выполненных в рамках долгосрочной программы спектральных и фотометрических исследований комет, проявляющих значительную активность на больших гелиоцентрических расстояниях. На фоне непрерывного спектра отождествлен ряд молекулярных эмиссий. Присутствие ионов CO^+ и N_2^+ свидетельствует, что эти кометы сформировались при температурах < 27 K на наиболее ранних стадиях зарождения Солнечной системы или на ее окраинах. Регистрация эмиссий ионов в спектрах кометы VQ94 на гелиоцентрическом расстоянии 8.36 а. е. является рекордной для тел Солнечной системы.

ВВЕДЕНИЕ

Прогресс в технологии разработки современных светочувствительных приемников и их применение в астрономических наблюдениях привели к открытию пояса кометоподобных тел за орбитой Нептуна и к значительному расширению списка комет, проявляющих значительную активность на больших гелиоцентрических расстояниях.

Общепризнанно, что значительную долю вещества ядра типичной кометы составляет водяной лед. Именно в результате его сублимации комета формируется как явление. На расстояниях от Солнца, больших 4 а. е., скорость сублимации водяного льда, даже загрязненного, настолько незначительна, что не может привести к формированию хвоста и/или комы кометы. Тем не менее, кометы с развитыми пылевыми хвостами и мощными комами все же наблюдаются вне зоны сублимации водяного льда.

Начиная с 2006 года мы проводим регулярные наблюдения этих комет в рамках программы фотометрических и спектральных исследований удаленных комет. Программа выполняется на 6-м телескопе БТА с использованием многофункционального редуктора SCORPIO, установленного в первичном фокусе телескопа [1]. Спектральные данные получены для 17 удаленных комет. Их первичная обработка свидетельствует, что у большинства наблюденных комет зарегистрирован лишь непрерывный спектр без эмиссионных деталей. Следовательно, в комах комет газы с низким потенциалом возбуждения или же отсутствуют, или же их обилие ниже порога регистрации; газ, ответственный за формирование ком и хвостов, не имеет спектральных линий в оптической области спектра.

Спектры двух комет все же оказались богатыми на молекулярные эмиссии. Одна из них, 29P/Schwassmann–Wachmann 1 (далее 29P), – периодическая и открыта еще в 1925 году. Комета движется по почти круговой орбите с эксцентриситетом 0.044 и перигелийным расстоянием 5.72 а. е., период ее вращения составляет 14.9 года. Характерной особенностью кометы есть нерегулярная вспышечная активность на протяжении всего периода ее наблюдений. Вторая, C/2002 VQ94 (LINEAR) (далее VQ94), является долгопериодической с периодом вращения, равным 3110 лет, и перигелийным расстоянием 6.8 а. е. Комета открыта в ноябре 2002 года и до сих пор остается активной. Обе кометы, обладая развитыми комами, не имеют хвостов. Морфология их ком определяется джетами, которые сформировались в результате истечения вещества из локальных активных областей, расположенных на поверхности ядер комет.

29P/SCHWASSMANN–WACHMANN 1

Первые спектральные наблюдения кометы 29P были выполнены еще в 1941 году [11]. На спектрограммах с низким спектральным разрешением был зарегистрирован непрерывный спектр без каких-либо следов

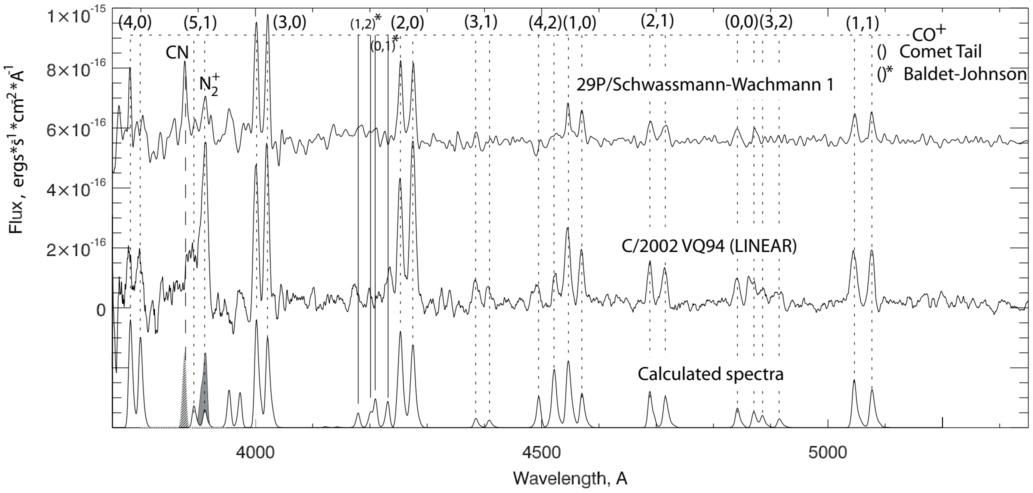

Рис. 1. Молекулярные эмиссии в спектрах комет 29P (15 декабря 2006 г.) и VQ94 (10 апреля 2007 г.) [10]. Непрерывный спектр вычтен. Внизу приведены теоретические спектры газов, обнаруженных в комах комет

молекулярных эмиссий. В результате более современных наблюдений кометы, проведенных в конце XX века, на фоне непрерывного спектра был отождествлен ряд молекулярных полос CO^+ и полоса CN (0–0) [3–6, 8]. Обнаружение этих же эмиссий на спектрограммах, полученных в 2003–2004 гг., свидетельствует о долговременности эффекта свечения этих газов в коме кометы [7].

Мы наблюдали комету 29P 15 декабря 2006 года [10]. Комета находилась на гелиоцентрическом расстоянии 5.86 а.е., а ее звездная величина была 13.3^m. Спектры получены в спектральном диапазоне 3600–5300 Å со спектральным разрешением 5 Å. Кроме континуума, обусловленного рассеянием солнечного света на пыли, мы выделили 10 колебательных эмиссионных полос CO^+, полосу CN (0–0) и, впервые, полосу N_2^+. Результирующий молекулярный спектр кометы 29P после вычитания непрерывного спектра представлен на рис. 1. Подтверждением наших отождествлений служат помещенные внизу рисунка синтетические спектры упомянутых выше молекул.

C/2002 VQ94 (LINEAR)

Спектральные наблюдения кометы VQ94 были выполнены, когда ее гелиоцентрическое расстояние изменялось от 6.8 а.е. до 9.86 а.е., а интегральная звездная величина составляла 16.5^m–17.5^m. Спектрограммы покрывали диапазон 3600–5300 Å со спектральным разрешением 5 Å. Результатом первых наблюдений, выполненных 6 марта 2006 года ($r = 6.8$ а.е.), стало отождествление эмиссий молекул CN, C_3, CO^+ и N_2^+ [9]. Дальнейший спектральный мониторинг показал, что на расстоянии кометы от Солнца 7.33 а.е. (10 апреля 2007 г.) в спектре кометы исчезли эмиссии CN и C_3, а эмиссии ионов остались довольно сильными [10]. Мы отождествили 13 колебательных полос CO^+, принадлежащих как системе Кометных хвостов, так и системе Бальдета–Джонсона (рис. 1). В марте 2008 г., когда комета была на гелиоцентрическом расстоянии 8.36 а.е., эмиссии CO^+ и N_2^+ еще уверенно регистрировались (рис. 2, *a*), а в марте 2009 г. ($r = 9.86$ а.е.) наблюдался уже только непрерывный спектр (рис. 2, *b*).

ПЕКУЛЯРНОСТЬ КОМЕТ P29 И VQ94

Обе кометы обладают рядом свойств, которые выделяют их из многообразия удаленных активных комет. Морфология их ком, в основном, определяется джетовыми образованиями в результате истечения вещества из локальных активных зон, расположенных на поверхностях ядер. При этом, несмотря на высокую степень активности, хвосты у них так и не образовались. Только в спектрах этих комет обнаружены эмиссии ионов CO^+ и N_2^+, а это приводит к заключению о наличии значительных количеств льдов CO и N_2 в ядрах комет. Лабораторные эксперименты показывают, что намерзание этих веществ на пылевых зародышах и/или захват молекул этих веществ льдами воды возможны при температурах ниже 27 K [2]. Следовательно, кометы P29 И VQ94 сформировались или на окраинах Солнечной системы, или на наиболее ранних стадиях формирования Солнечной системы.

Регистрация ионов CO^+ и N_2^+ также является загадкой, поскольку фотоионизация газов CO и N_2 на расстояниях от Солнца, где наблюдались исследуемые кометы, не может дать объяснение этому

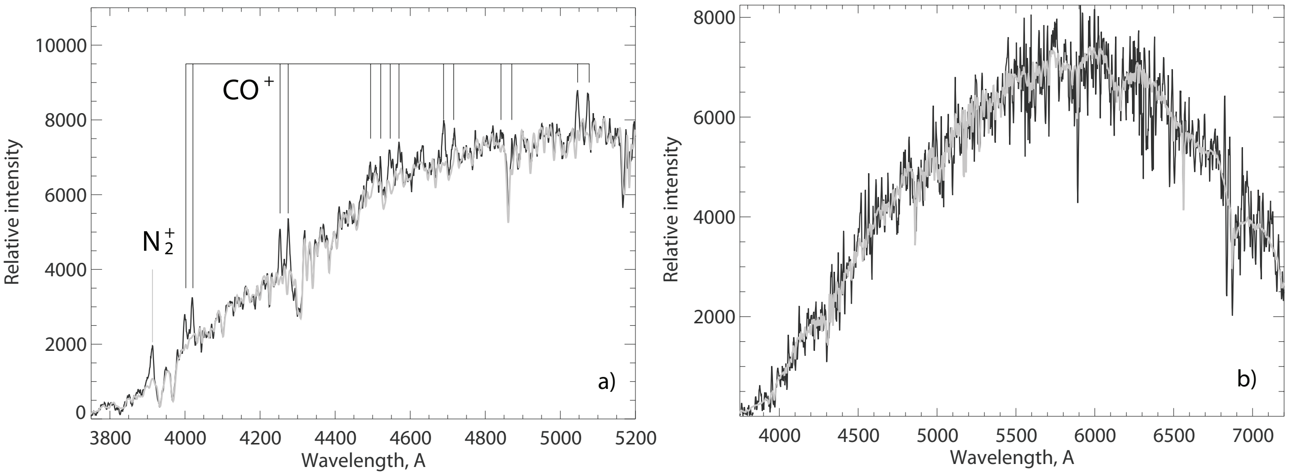

Рис. 2. Спектр кометы VQ94 от 13 марта 2008 года ($r = 8.36$ а.е.). Отождествлены эмиссии CO^+ и N_2^+ (*a*). Спектр кометы VQ94 от 31 марта 2009 года ($r = 9.86$ а.е.). Молекулярные эмиссии отсутствуют (*b*). (Серая линия соответствует уровню непрерывного спектра)

наблюдательному факту. Ионы CO^+ и N_2^+ в спектрах кометы VQ94 были зарегистрированы нами на рекордно больших расстояниях от Солнца (8.36 а.е). Ни в каком другом объекте Солнечной системы ионы на подобных расстояниях не наблюдались.

Высказываются сомнения в том, что отождествленные эмиссии ионов N_2^+ принадлежат комете, а не атмосфере Земли. Надежность наших выводов детально была проанализирована в наших предыдущих публикациях [10]. Суть аргументации заключается в том, что наши наблюдения проводились в пределах астрономической ночи, кометы наблюдались на малых зенитных расстояниях, а в спектрах ночного неба, которые регистрировались одновременно со спектрами кометы, не были обнаружены эмиссии, характерные для полярных сияний.

[1] *Afanasiev V. L., Moiseev A. V.* The SCORPIO universal focal reducer of the 6-m telescope // Astron. Lett. – 2005. – **31**. – P. 194–204.

[2] *Bar-Nun A., Notesco G., Owen T.* Trapping of N2, CO and Ar in amorphous ice // Icarus. – 2007. – **190**. – P. 655–659.

[3] *Cochran A. L, Barker E. S., Cochran W. D.* Spectrophotometric observations of 29P/Schwassmann–Wachmann 1 during outburst // Astron. J. – 1980. – **85**. – P. 474–477.

[4] *Cochran A. L, Cochran W. D.* The first detection of CN and the distribution of CO+ gas in the coma of Comet P/Schwassmann–Wachmann 1 // Icarus. – 1991. – **90**. – P. 172–175.

[5] *Cochran A. L., Cochran W. D., Barker E. S.* Spectrophotometry of Comet Schwassmann–Wachmann 1. II. Its color and CO+ emission // Astrophys. J. – 1982. – **254**. – P. 816–822.

[6] *Cochran A. L., Cochran W. D., Barker E. S., Storrs A. D.* The development of the CO+ coma of Comet P/Schwassmann–Wachmann 1 // Icarus. – 1991. – **92**. – P. 179–183.

[7] *Cook J. C., Desch S. J., Wyckoff S.* Visible and near infrared spectra of Comet 29P/Schwassmann–Wachmann 1 // Bull. Amer. Astron. Soc. – 2005. – **37**. – P. 645.

[8] *Larson S. M.* CO+ in Comet Schwassmann–Wachmann 1 near minimum brightness // Astrophys. J. – 1980. – **238**. – P. L47–L48.

[9] *Korsun P. P., Ivanova O. V., Afanasiev V. L.* Cometary activity of distant object C/2002 VQ94 (LINEAR) // Astron. and Astrophys. – 2006. – **459**. – P. 977–980.

[10] *Korsun P. P., Ivanova O. V., Afanasiev V. L.* C/2002 VQ94 (LINEAR) and 29P/Schwassmann–Wachmann 1 – CO+ and N2+ rich comets // Icarus. – 2008. – **198**, N 2. – P. 465–471.

[11] *Mayall N. U.* Note on the spectrum of Comet Schwassmann–Wachmann 1 (1925b) // Publs Astron. Soc. Pacif. – 1941. – **53**. – P. 340–341.