АСТРОФИЗИКА

ТОМ 31 АВГУСТ, 1989 ВЫПУСК 1

УДК: 524.82

ПЕРИОДИЧНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО $\ln(1+z)$ КВАЗАРОВ, КВАЗАГОВ И ВСЕХ КВАЗИЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ

М. Ф. ХОДЯЧИХ

Поступила 18 июля 1988
Принята к печати 31 января 1989

Построены распределения объектов по $\ln(1+z)$ в выборках квазаров, квазагов и всех квазизвездных объектов (~ 2300) при различных предельных звездных и радиовеличинах. Проведен их спектральный анализ. Во всех выборках выявлена периодичность с периодом 0.19. В выборках оптически ярких квазаров и отдельно квазагов выявляется пик на спектре мощности с периодом 0.29. Показано, что эффекты селекции не объясняют наблюдаемой периодичности. Появление периодичности у квазаров и квазагов, выявляемых разными оптическими методами, подтверждает ее реальность. Периодичность видимой пространственной плотности квазизвездных объектов согласуется с обнаруженной ранее зависимостью звездной и радиовеличин квазаров от $\ln(1+z)$.

1. *Введение.* Периодичность в распределении квазаров по аргументу $\ln(1+z)$ была обнаружена в [1] по выборке из $N = 159$ объектов. Позднее в [2—4] по более обширным (до 600 объектов) выборкам также была выявлена цикличность с периодом $P = 0.19 \div 0.21$. Результаты поиска периодичности по выборке из ~ 1500 объектов у разных авторов оказались противоречивыми: в [5] периодичность обнаружена, в [6] на спектре мощности при этих периодах никаких особенностей не выявлено.

Проблеме объяснения наблюдаемой периодичности посвящено большое количество работ. Большинство авторов пытаются объяснить эту периодичность различного рода селекционными эффектами [7—10]. В [3] для исследования влияния эффектов селекции формировались выборки квазаров с разными предельными звездными величинами. В настоящей работе построены распределения видимой плотности квазаров по аргументу $\ln(1+z)$ для выборок квазаров при разных предельных радиопотоках и предельных величинах MV и проведен их спектральный анализ.

В [12] были выявлены циклические изменения блеска квазаров по аргументу $x = \ln(1+z)$ с периодом 0.19. Позднее мы построили диаграммы Хаббла в радиодиапазоне при $\lambda = 6$ и 11 см и обнаружили циклические изменения радиоблеска квазаров с тем же периодом и амплитудой, дости-

гающей $1^m.5$ [13]. Можно ожидать, что эти изменения окажут заметное влияние на распределение квазаров по x. Для исследования этого распределения в работе использовался каталог [14]. В нем приведены красные смещения, величины V и другая информация для 2300 квазизвездных объектов и для ~ 900 объектов приведены радиопотоки на $\lambda=6$ и 11 см.

2. *Распределение квазизвездных объектов по* $\ln(1+z)$. Обычно при построении распределения квазаров по аргументу x строят гистограммы. В [3] для этой цели по исследуемой выборке объектов рассчитывалась плотность или частота встречаемости квазаров $\rho(x)$ — число квазаров, приходящихся на единичный интервал аргумента x. При вычислении ее квазары располагались в порядке возрастания красных смещений. Плотность $\rho(x)$ и соответствующее значение аргумента x вычислялись по $n+1$ соседним объектам в упорядоченной выборке. Относительная среднеквадратичная ошибка одиночной оценки $\rho(x)$ равна $\sigma_\rho = (n-2)^{-1/2}$. Подробно методика расчета $\rho(x)$ описана в [3]. Удобно ввести функцию $u = \lg[\rho(x)]$. Абсолютная дисперсия σ_u не будет зависеть от величины u, то есть всем оценкам $u(x)$ можно приписать одинаковый вес. Параметр n определяет точность вычисления плотностей и разрешение по аргументу x. Так как в настоящей работе исследовалась периодичность при $\omega = 2\pi P^{-1}$ порядка 30, было принято для всех выборок $n = N/30 + 3$. Таким образом рассчитывалась зависимость $u(x)$. Путем интерполирования вычислялись для значений x_i с шагом 0.01 величины $u(x_i)$ и проводился спектральный анализ этого эквидистантного ряда. Для уменьшения влияния краевых областей использовалось временное окно $W(x)$

$$W(x) = \begin{cases} 1, & |x-d| \leqslant v \\ \exp\left[-\dfrac{(|x-d|-v)^2}{2\sigma^2}\right], & |x-d| > v. \end{cases} \qquad (1)$$

Было принято $d = 0.7$, $v = 0.4$, $\sigma = 0.07$.

Расчеты определения плотностей $u(x)$ и спектров мощности S_ω проводились для выборок квазаров, отобранных по различным уровням радиопотоков и блеска объектов. На рис. 1а приведено распределение плотности квазаров для мощных радиоисточников, радиовеличина m_r которых не превышает предельной величины $MR = 11^m.50$ ($S_\nu = 1.05$ ян). На диаграмме четко прослеживаются циклические изменения. При больших MR наблюдается аналогичная зависимость. При включении в выборку все более радиослабых квазаров (при увеличении MR) амплитуда периодических изменений уменьшается. Это хорошо видно на спектрах мощности S_ω.

построенных для выборок с разными MR. На рис. 2a приведен спектр мощности, рассчитанный для выборки с $MR = 11^m2$. В области низких частот при $\omega \simeq 8$ наблюдается пик в S_ω, соответствующий $P \simeq 0.8$. Этот пик появляется вследствие крупномасштабной нелинейности $u(x)$: наличия максимума при $x \simeq 0.5$ и уменьшения u на краях области значений x. В нашем случае этот низкочастотный пик не представляет интереса. На кривых S_ω выявляется мощный пик при $\omega \simeq 33$, соответствующий период $P = 0.19$. У сильных радиоисточников амплитуда

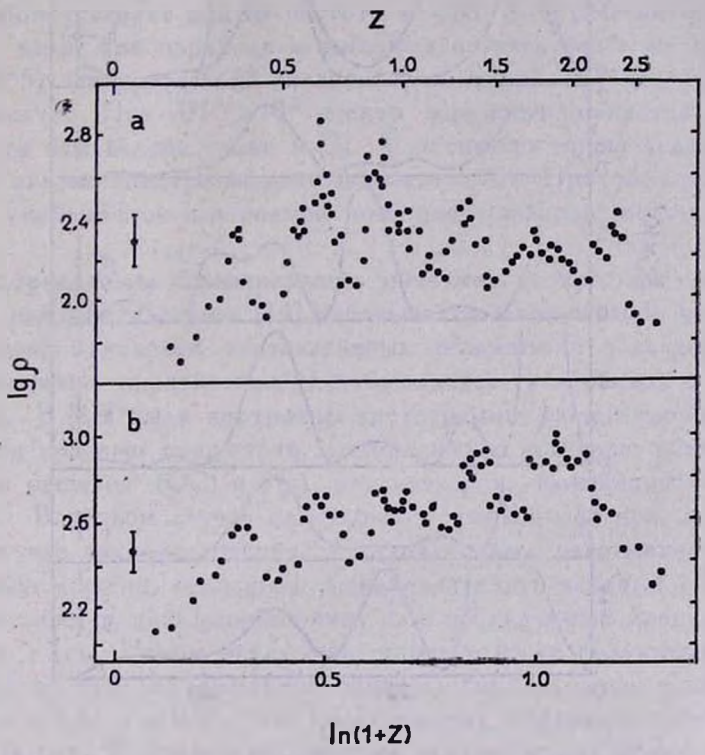

Рис. 1. Распределение квазаров по $ln\ (1+z)$, a) при радиовеличинах $m_r < 11^m5$ и b) при $V < 18^m$.

изменения плотности наибольшая. При включении в выборку более слабых источников амплитуда уменьшается и для полной выборки (~ 900 объектов) амплитуда изменения плотностей примерно в два раза меньше, чем у мощных радиоисточников (Рис. 2b, c). Примерно такой качественный характер явления ожидался после обнаружения цикличности радиопотоков квазаров по аргументу $\ln(1+z)$. Действительно, при малых $MR\ (< 11^m)$ квазары будут наблюдаться только

при некоторых x, где наблюдаются максимальные радиопотоки от квазаров, что приведет к большим S_∞ при малых MR.

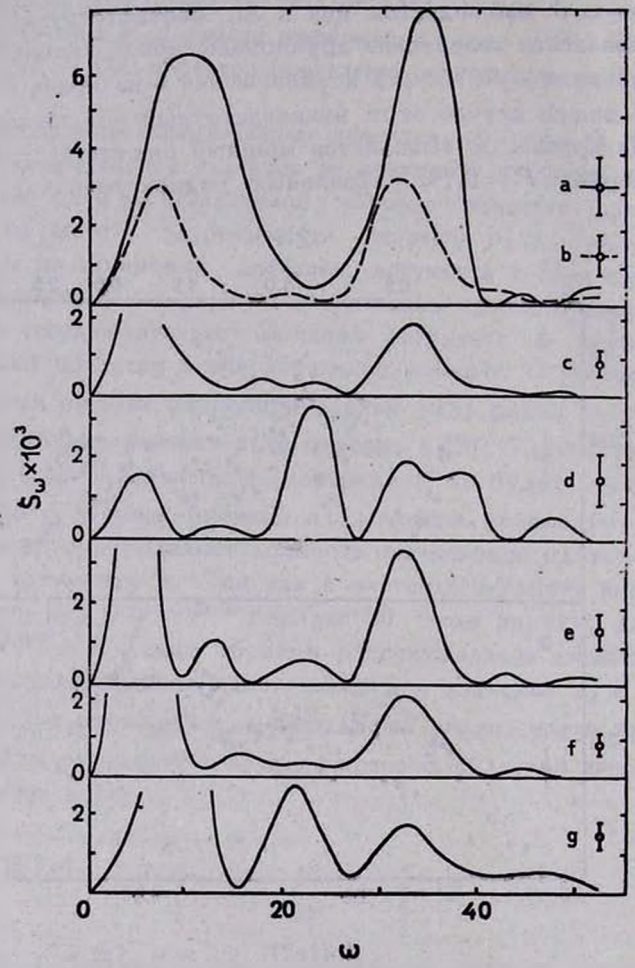

Рис. 2. Спектры мощности для выборок квазаров с предельными радиовеличинами. a) 11^m2, b) 12^m, с предельными величинами MV: d) 17^m, e) 18^m, c) для всех квазаров, f) для квазаров и квазагов при $MV = 19^m$, g) для квазагов ($MV = 19^m$).

Далее были рассмотрены выборки квазаров с разными предельными величинами MV, составленные из объектов с известными радиопотоками в сантиметровом диапазоне длин волн. Наклон на диаграмме Хаббла для квазаров в оптическом диапазоне составляет примерно 2.1 [15]. Поэтому, так же, как и в [3], включаемые в выборку квазары удовлетворяли условию $m < MV + 2.1 \lg z$, где m — величина V, исправленная за космологическое покраснение. Поправки K_ν

определялись по данным [16]. Выше при анализе выборок с предельными MR мы не вводили K-поправку в радиовеличины квазаров, поскольку наблюдаемые радиопотоки от них не показывают систематической зависимости от z. Наклон на радиодиаграммах Хаббла в сантиметровом диапазоне спектра появляется после введения K-поправок. Для выборок с различными MV были рассчитаны плотности $u(x)$ и спектры мощности S_ω. На рис. 1b показано распределение плотности квазаров $u(x)$ для выборки при $MV = 18^m$. Для выборок с $MV = 17^m$ и 18^m спектры мощности приведены на рис. 2d, e. У функции S_ω всех выборок присутствует пик на частоте $\omega = 33$. У оптически ярких объектов S_{33} мало, при переходе к выборкам с более слабыми объектами ($MV > 17^m5$) пик при $\omega = 33$ становится основной особенностью спектра мощности. При $MV > 18^m$ спектр мощности меняется незначительно, что отмечалось также в [3]. У оптически ярких квазаров наблюдается пик на спектре мощности при $\omega = 24$. При увеличении MV пик S_{24} уменьшается и в полной выборке квазаров почти не выявляется.

В распределении квазизвездных объектов по красным смещениям в полной выборке каталога [14] наблюдается значительное увеличение (в 3—4 раза) плотности квазизвездных объектов в области $z > 1.8$. Это возрастание практически не наблюдается у объектов с радиоизлучением. В [17] были построены гистограммы распределения квазаров $\rho(z)$ по красным смещениям, выявленных с помощью объективных призм или решеток (ОС) и $\rho(z)$ для квазагов, выявленных другими методами. В первом случае наблюдается резкий пик при $z > 1.8$, во втором случае пик отсутствует. Следовательно, увеличение $\rho(z)$ при $z > 1.8$ обусловлено селекцией выявления квазизвездных объектов с ОС и объясняется попаданием линии L_α в исследуемый диапазон спектра при $z > 1.8$. Чтобы исключить влияние этого селекционного эффекта, при расчете S_ω временное окно (1) определялось параметрами $d = 0.6$, $v = 0.3$, $\sigma = 0.07$, что обеспечивало обрезание области при $z > 1.8$. На рис. 2f приведены спектры мощности для общей выборки квазаров и квазагов. При $MV < 19^m$ пик при $\omega \simeq 33$ выявляется уверенно. У выборок с более слабыми объектами, хотя пик и выявляется, но амплитуда изменения $u(x)$ мала. У квазагов (рис. 2g) пик S_{33} также уверенно выявляется, однако, наряду с ним, в спектре присутствует пик на частоте $\omega = 23$, аналогичный пику S_{23} на спектре мощности для оптически ярких объектов с радиоизлучением.

Таким образом, во всех выборках, составленных из объектов каталога [14], в том числе и в непересекающихся выборках квазаров и квазагов выявлены циклические изменения плотности квазаров по аргументу $\ln(1+z)$ на частоте $\omega = 33$. При этом у квазаров амплитуда изменения плотности

уменьшается при включении в выборку квазаров все менее мощных источников радиоизлучения.

Оценки точности S_ω можно сделать обычными методами [18]. Но в работе использовалась нестандартная методика вычисления $\rho(x)$, поэтому были проведены численные эксперименты с выборками случайных чисел разного объема, в которых по описанной выше методике вычислялись $u(x)$ и S_ω. По их результатам была оценена среднеквадратическая погрешность S_ω: $\sigma_S = 0.009/\sqrt{N}$, которая указана на диаграммах. Как видно из диаграмм, пик при $\omega = 33$ выявляется довольно уверенно. Так, у квазаров на частоте $\omega = 33$ отношение сигнала к шуму составило 10 при $MR = 11\overset{m}{.}2$ и 8 для всей выборки.

3. Роль эффектов селекции. В большинстве работ авторы ищут объяснения периодичности в распределении квазаров эффектами селекции их обнаружения. Обсудим влияние этих эффектов более подробно.

a) Изменение блеска квазаров при прохождении сильных линий через область чувствительности системы может повлиять на вероятность обнаружения квазаров в зависимости от красного смещения [3, 7, 9]. Используя выборку около 300 квазизвездных объектов [19], мы оценили изменение блеска для объектов с наиболее сильными линиями при прохождении этих линий через полосу B. Максимальное изменение B не превышает $0\overset{m}{.}5$, однако таких объектов немного. Но даже при таких B величина эффекта селекции по оценке [3] существенно меньше вариаций плотности квазизвездных объектов (рис. 1).

b) Цвет квазара изменяется в зависимости от z при попадании сильных линий в полосу чувствительности приемника, что может привести к выравниванию цвета квазаров и звезд в некоторых интервалах z и к зависимости вероятности обнаружения квазаров от z. Этот эффект исследовался в ряде работ. В [8] найдена корреляция распределения квазаров и зависимости эквивалента показателя цвета $(U—B)_L$ от красного смещения. Для определения эквивалента цветов проводились модельные расчеты. В [11] модель для расчета $(U—B)_L$ была усовершенствована. При этом из шести пиков в распределении квазаров четыре совпали с пиками зависимости $(U—B)_L$ от красного смещения, на основании чего авторы [11] пришли к выводу о существенном влиянии этого селекционного эффекта. Однако настораживает отмеченное авторами наличие пика в распределении квазаров при $z \simeq 0.55$, в то время как на кривой $(U—B)_L$ в этой области располагается широкий минимум. Далее, как отмечалось выше, широкий максимум при z от 1.8 до 2.8 в распределении квазизвездных объектов обусловлен эффектом селекции обнаружения с ОС, а не изменением цвета квазаров. Следует также отметить, что в модельных расчетах $(U—B)_L$ не

учитывалось разнообразие спектральных индексов α. Очевидно, учет дисперсии α приведет к существенному замытию экстремумов на рассчитываемой зависимости цвета квазаров от красного смещения. С другой стороны, влияние этого эффекта селекции на наблюдаемое распределение квазизвездных объектов можно уточнить, анализируя среднюю зависимость цвета квазаров от z. Галактическое поглощение A приводит к покраснению объектов и увеличивает дисперсию точек на диаграмме. На рис. 3 построена зависимость цвета $U—B$ от красного смещения для квазаров с $A_V < 0^m3$. Для определения величины поглощения использовались карты

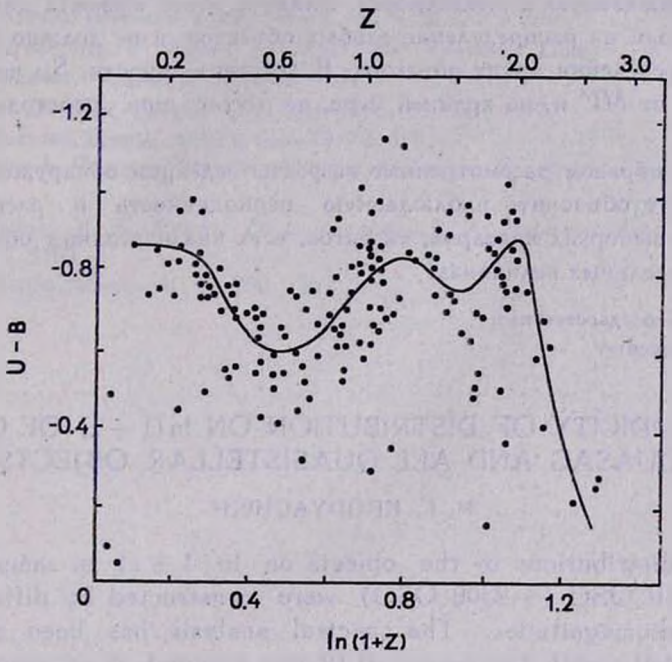

Рис. 3. Диаграмма «цвет—ln (1+z)» для квазаров с галактическим поглощением $A_V < 0.3^m$.

А. С. Шарова [20]. Трудно усмотреть какое-либо соответствие между распределением квазаров и изменениями цвета в зависимости от красного смещения. На аналогичной диаграмме для всех квазаров (при любых A) особенности зависимости $U—B$ от z еще более «замоются». Поэтому объяснение наблюдаемой периодичности в распределении квазаров этим эффектом представляется неприемлемым. Доказательством этого является выявление периодичности у квазагов, так как подавляющее большинство их в каталоге [14] были обнаружены с ОС, где этот эффект селекции отсутствует.

c) Попадание сильных линий в исследуемый диапазон спектра увеличивает вероятность их обнаружения. Однако даже при учете четырех наиболее сильных линий, как отмечалось в [3], одна или несколько сильных линий обязательно попадают в диапазон спектра 3300—6000 А, если они присутствуют в спектре объекта. В [11] приведены дополнительные аргументы, указывающие на малость влияния этого эффекта селекции.

d) Полосы и линии в спектре свечения ночного неба при определенных красных смещениях затрудняют отождествление объектов. В [11] на основе моделирования показано, что этот эффект селекции не может объяснить наблюдаемую периодичность. Влияние этого эффекта должно быть более сильным на распределение слабых объектов, и не должно сказываться на распределении ярких объектов. В действительности, S_{33} не так сильно зависит от MV и, по крайней мере, не растет при переходе к слабым объектам.

Таким образом рассмотренные эффекты селекции обнаружения квазаров не могут объяснить наблюдаемую периодичность в распределении объектов в выборках квазаров, квазагов, всех квазизвездных объектов при разных предельных величинах.

Харьковский государственный
университет

THE PERIODICITY OF DISTRIBUTION ON $\ln(1+z)$ OF QUASAR, QUASAG AND ALL QUASISTELLAR OBJECTS

M. F. KHODYACHIKH

The distributions of the objects on $\ln(1+z)$ in samples QSS, QSG and all QSO ($\sim$2300 QSO) were constructed by different stellar and radiomagnitudes. The spectral analysis has been performed. The periodicity with the period 0.19 was exposed in all samples. The peak on the power spectrum was revealed in the samples of the optical bright QSSs and of QSGs with period 0.29. It has been proved that the selection effects cannot explain the observed periodicity. The appearance of periodicity at QSSs and QSGs exposed by different methods comfirms its reality. The periodicity of the visible space density of QSOs is in agreement with the discovered dependence of stellar and radiomagnitude QSSs on $\ln(1+z)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *K. G. Karlsson*, Astron. and Astrophys., 13, 333, 1971.
2. *K. G. Karlsson*, Astron. and Astrophys., 58, 257, 1978.
3. *М. Ф. Ходячих*, Астрон. ж., 56, 732, 1979.

4. *Н. Г. Макаренко, О. А. Пушкарев*, Тр. Астрофиз. ин-та АН Каз.ССР, 35, 67, 1981.
5. *L. Z. Fang, Y. Q. Chu, Y. Lin, Ch. Cao*, Astron. and Astrophys., 106, 287, 1982.
6. *В. С. Лебедев, И. А. Лебедева*, Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерв., 19, 16, 1985.
7. *Е. А. Карицкая, Б. В. Комберг*, Астрон. ж., 47, 43, 1970.
8. *D. Basu*, Astrophys. Lett., 16, 53, 1975.
9. *J. M. Barnothy, M. F. Barnothy*, Publs. Astron. Soc. Pacif., 88, 837, 1977.
10. *В. П. Афанасьев, А. А. Пименов*, Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерв., 13, 76, 1981.
11. *Н. Г. Макаренко, О. А. Пушкарев*, Деп. в ВИНИТИ, № 5602—8340, 1983.
12. *М. Ф. Ходячих*, Астрон. ж., 56, 1174, 1979.
13. *М. Ф. Ходячих*, Кинемат. и физ. небесн. тел, 4, № 2, 53, 1988.
14. *M. P. Veron-cetty, P. Veron*, Sci. Rept. Eur. Southern. Observ., № 1, 1984.
15. *М. Ф. Ходячих*, Астрон. ж., 60, 840, 1983.
16. *A. Evans. D. Hart*, Astron. and Astrophys., 58, 241, 1977.
17. *М. Ф. Ходячих*, Пробл. космич. физ., 20, 72, 1985.
18. *Д. Бендат, А. Пирсол*, Применения корреляционного и спектрального анализа, М., 1983.
19. *B. J. Wilkes. A. E. Wright, D. L. Jauncey, B. A. Peterson*, Proc. Astron. Soc. Austral., 5, 2, 1983.
20. *А. С. Шаров*, Астрон. ж., 40, 900, 1963.