



УДК 524.7

## Рентгенівські спектри АЯГ з сильними емісійними лініями

А.В. Тугай, А.А. Василенко, Т.А. Заєць

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

*За архівними даними обсерваторії ХММ-Newton ми побудували рентгенівські спектри 12 АЯГ з сильними оптичними емісійними лініями. Отримані нами моделі спектрів відповідають ядрам галактик Сейферта. В роботі показано, що для галактик Сейферта показник ступеня спектру у діапазоні 2–12 кеВ не перевищує 1.9, а потік у цьому діапазоні складає щонайменше 1% від оптичного (у смузі u).*

*РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРЫ АЯГ С СИЛЬНЫМИ ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ, Тугай А.В., Василенко А.А., Заец Т.А. — На основе архива наблюдений обсерватории ХММ-Newton мы построили рентгеновские спектры 12 АЯГ с сильными оптическими эмиссионными линиями. Полученные нами модели спектров соответствуют ядрам галактик Сейферта. В работе показано, что для галактик Сейферта показатель степени в диапазоне 2–12 кэВ не превышает 1.9, а поток в этом диапазоне составляет не меньше 1% от оптического потока в фильтре u.*

*X-RAY SPECTRA OF AGN'S WITH STRONG EMISSION LINES, by Tugay A. V., Vasylenko A. A., Zaets T. A. — Using XMM-Newton archive we obtained X-ray spectra for 12 AGN's with strong optical emission lines. Models of our spectra corresponds to Seyfert galaxies. We conclude that for Seyfert galaxies power-law spectral index in 2–12 keV band is less than 1.9 and minimal X-ray flux exceeds 1% of optical flux in u-band.*

**Ключевые слова:** активные ядра галактик; рентгеновские спектры.

**Key words:** active galactic nuclei; X-ray spectra.

### 1. ВСТУП

Рентгенівське випромінювання галактики може бути проявом одного з двох типів її активності: активного зореутворення або активного ядра (АЯГ). Починаючи з роботи [5] для визначення типів активності галактик, широко використовуються діаграми розподілів відносних інтенсивностей емісійних ліній оптичного спектра. Такі діаграми називаються ВРТ-діаграмами, на честь авторів [5]. Найбільшою однорідною базою оптичних спектрів позагалактичних об'єктів наразі є Слоанівський цифровий огляд неба (SDSS). Найчастіше в спектрах активних галактик зустрічаються емісійні лінії NII і OIII на довжинах хвиль 6583 і 5007 ангстрем. Для того, щоб охарактеризувати внутрішні характеристики галактики незалежно від її відстані, при побудові ВРТ-діаграми по осях відкладають десяткових логарифм відношень інтенсивностей цих ліній до інтенсивностей найближчих ліній серії Бальмера —  $H\alpha$  і  $H\beta$ . В роботах [8] і [11] були побудовані такі діаграми для галактик SDSS. В роботі [2] ми провели ототожнення галактик SDSS (за списком, використаним також в [11]) з рентгенівськими джерелами каталогу 2XMM космічної обсерваторії ХММ-Newton, отримали вибірку з 315 галактик з рентгенівським випромінюванням і побудували для неї ВРТ-діаграму (рис. 1). Ми розділили об'єкти вибірки на галактики з областями HI і галактики Сейферта за допомогою емпіричного критерію, введеного у [8], згідно якого галактика відноситься до галактик Сейферта при виконанні умови

$$\lg(OIII/H\beta) > 0.61/(\lg(NII/H\alpha) - 0.05) + 1.3. \quad (1)$$

В роботі [11] розглядаються межі застосовності цього критерію і пропонуються його модифікації. Оскільки наша вибірка рентгенівських галактик виявилася невеликою, ми використали критерій без змін. В роботі [3] ми показали, що за архівами спостережень ХММ можна побудувати якісні рентгенівські спектри лише для 6 галактик SDSS з областями HI і сильними емісійними лініями. В даній роботі ми представляємо рентгенівські спектри галактик з активними ядрами з вибірки, що була отримана у [2].

### 2. ВИБІРКА

Остання версія електронного каталогу 2XMM містить 262 902 автоматично задетектованих рентгенівських джерела і доступна за адресою:

<http://vizier.ast.cam.ac.uk/viz-bin/VizieR?-source=IX%2F41>

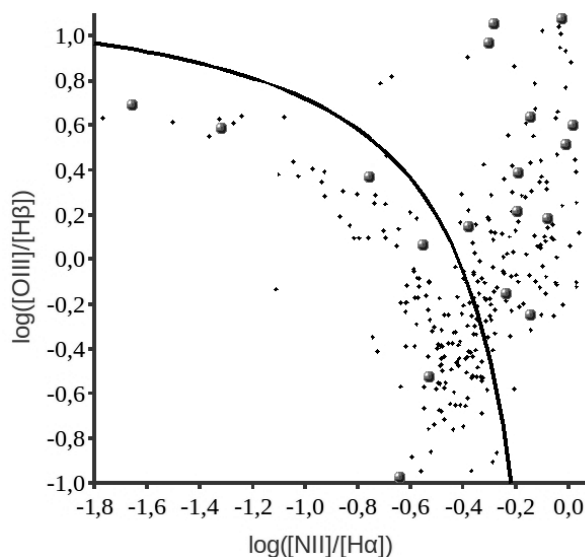
В цій базі даних є можливість перегляду попередніх спектрів всіх джерел, що також створюються автоматично. Згідно [2], кількість рентгенівських галактик SDSS з сильними емісійними лініями складає 167. Але тільки 19 з них мають попередні спектри. Параметри цих джерел представлені в табл. 1.

**Таблиця 1.** Параметри АЯГ з попередніми рентгенівськими спектрами

Галактики	$\alpha$	$\delta$	$z$	$u$	$\lg(\text{NII}/\text{H}\alpha)$	$\lg(\text{OIII}/\text{H}\beta)$
NGC1194	45.955	-1.104	0.014	15.632	-0.302	0.968
NGC3982	179.117	55.125	0.004	13.408	-0.027	1.078
NGC7589	349.565	0.261	0.030	16.354	-0.192	0.387
NGC7738	356.009	0.517	0.023	15.734	-0.064	0.096
IC4395	214.338	26.857	0.037	15.969	-0.147	-0.247
Mrk18	135.493	60.152	0.011	15.099	-0.381	0.150
MCG+08-21-065	173.538	49.255	0.037	18.567	-0.282	1.055
PKS0041+007	11.019	1.031	0.112	19.161	0.016	0.602
2MASS J12451294-0040565	191.304	-0.682	0.104	18.259	-0.286	-0.036
2MASS J13344196+5029247	203.654	50.487	0.084	19.713	-0.081	0.147
2MASX J11340896+4915162	173.538	49.255	0.037	18.567	-0.282	1.055
2MASX J12034921+0205575	180.955	2.099	0.081	17.821	-0.196	0.216
2MASX J12115618+1326157	182.984	13.438	0.057	18.994	0.000	0.292
2MASX J12260241+0046403	186.510	0.778	0.083	18.548	-0.188	0.400
2MASX J12264953+3117368	186.707	31.293	0.083	18.795	-0.144	0.634
2MASX J12390509+1744576	189.771	17.749	0.065	17.193	-0.236	-0.154
2MASX J14160211+3609234	214.009	36.156	0.171	19.223	-0.012	0.514
2MASX J14410764+3519469	220.286	35.333	0.079	18.260	-0.381	0.222
[SMB]885047	203.075	29.222	0.136	18.929	-0.330	-0.083

**Таблиця 2.** Параметри рентгенівських спектрів АЯГ

Галактика	Тип NED	Показник ступеня	$\chi^2/n$	Модель	$\lg(F_x/F_u)$
NGC1194	Sy1	$1.19 \pm 0.04$	1.06	pegrav*phabs*zwabs +diskline+zgauss [1]	-1.38
NGC3982	Sy1	$1.27 \pm 0.12$	1.27	po*phabs*zwabs+gauss	-2.77
NGC7589	Sy1	$2.06 \pm 0.01$	0.86	zpcfabs*po*phabs [15]	-1.36
IC4395	Sy2	$1.94 \pm 0.47$	0.98	mekal+po*zwabs [7]	-2.50
Mrk18	Sy2	$0.52 \pm 0.40$	1.20	bbody+po*phabs [13, 14]	-1.58
MCG+08-21-065	Sb in C	$1.87 \pm 0.48$	0.72	zphabs*po*phabs [9]	-0.57
PKS0041+007	Sy1	$1.34 \pm 0.24$	0.99	zpcfabs*po*phabs	-0.04
2MASX J11340896+4915162	AGN	$1.50 \pm 0.25$	0.87	po*phabs	-0.22
2MASX J12034921+0205575	Sy1	$1.11 \pm 0.11$	0.68	po*phabs	-0.59
2MASX J12264953+3117368	Galaxy	$1.50 \pm 0.18$	1.11	po*phabs	-0.43
2MASX J12390509+1744576	Galaxy	$1.88 \pm 0.22$	0.96	po*phabs	-1.40
2MASX J14160211+3609234	Galaxy	$1.60 \pm 0.45$	0.73	po*phabs	-0.23



**Рис. 1.** Класифікаційна діаграма галактик SDSS з рентгенівським випромінюванням. Під кривою знаходяться галактики з активним зореутворенням і областями НІ, над кривою — галактики Сейферта. В нижній частині діаграми значна частина галактик відноситься до типу LINER. Кружками позначені галактики, для яких були отримані рентгенівські спектри (над кривою — у даній роботі, під кривою — у роботі [3]).

В таблиці наведені екваторіальні координати галактик в градусах, червоні зміщення, видима зоряна величина  $u$  фотометричної системи SDSS (що близька до класичної величини  $U$  Джонсона) і логарифми відношень інтенсивностей емісійних ліній, що використовувалися при побудові ВРТ-діаграми. 7 джерел з табл. 1 виявилися занадто слабкими для побудови фізичних моделей рентгенівських спектрів. Для решти галактик може бути визначений лише загальний рентгенівський потік в широкому діапазоні енергій (повний діапазон енергій рентгенівського телескопа XMM-Newton — 0.15 – 15 кеВ).

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ

За архівними даними XMM нам вдалося побудувати рентгенівські спектри 12 галактик, які перераховані в табл. 2. Положення цих галактик на ВРТ-діаграмі показано на рис. 1 великими кружками над кривою. Під кривою позначені також положення галактик з зореутворенням, рентгенівські спектри яких були проаналізовані в [3]. Спектри галактик наведені на рис. 2.

З усіх активних ядер галактик, для яких ми побудували рентгенівські спектри, тільки в NGC1194 виділяється чітка лінія заліза на енергії 6.5 кеВ. Параметри активного ядра цієї галактики за її рентгенівським спектром визначені в роботі [1]. Більшість рентгенівських спектрів АЯГ можна апроксимувати степеневим законом з врахуванням фотоіонізаційного поглинання у міжзоряному і міжгалактичному середовищі. Дані про кількість міжзоряної речовини у нашій Галактиці бралися з роботи [6]. Отримані в результаті показники ступеня рентгенівських спектрів наведені у третьому стовпчику табл. 2, а значення статистики  $\chi^2$ , розділене на кількість ступенів вільності — у четвертому. У 5 стовпчику наведені складові використаних нами моделей спектрів. Позначення моделей і їх складових розшифровуються наступним чином:

- po* — найпростіша степенева модель спектру;
- pxravl* — спектр рентгенівського випромінювання, що відбивається від нейтрального середовища;
- phabs* — фотоіонізаційне поглинання у міжзоряному середовищі;
- pcfabs* — фотоіонізаційне поглинання з частковим перекриттям потоку;
- wabs* — фотоелектричне поглинання з перерізом, введеним групою Вісконсінського університету;
- tbody* — тепловий спектр абсолютно чорного тіла;
- mekal* — теплове випромінювання плазми за моделлю Меве–Каастра–Лідала;
- gauss* — лінія з гауссівським профілем;
- diskline* — емісійна лінія у релятивістському акреційному диску навколо чорної діри.

Приставка  $z$  на початку позначення моделі означає врахування червоного зміщення спектру.

Рентгенівські спектри будувалися за допомогою стандартного програмного пакету XSPEC. Детальний посібник з XSPEC з описом усіх моделей спектрів і необхідними посиланнями доступний за адресою:

<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xanadu/xspec/xspec11/index.html>

Для 5 галактик рентгенівські спектри визначалися раніше, відповідні посилання наведені після позначення моделі. При побудові спектрів цих галактик ми намагалися використовувати ті ж моделі, що і у попередніх роботах. Отримані в результаті параметри моделей узгоджуються з результатами інших авторів. Для 7 галактик рентгенівські спектри побудовані нами вперше.

До моделей спектрів галактик IC4395 і Mrk18 ми додали теплову компоненту у м'якому рентгенівському діапазоні. У галактиці NGC3982 лінія для покращення моделі введена емісійна лінія заліза на енергії 6.3 кеВ. Ця лінія є важливою ознакою рентгенівських спектрів акреційних дисків (див. напр [1, 12]), але у випадку даної галактики якість спектру недостатня для будь-яких фізичних висновків.

У другому стовпчику табл. 2 наведений тип галактики за даними електронної бази NED (NASA Extragalactic Database). Відповідно до положення наших галактик на діаграмі ВРТ, всі наші галактики можна відносити до сейфертівських. Таким чином ми уточнили типи 5 галактик.

В роботі [10] проведена крос-кореляція каталогів SDSS і XMM. В табл. 5 роботи [10] вказано, що автори ототожили 19 АЯГ, але їх спектри не були побудовані. Всього в роботі [10] розглядається кілька тисяч галактик, оскільки автори не накладали вимоги до інтенсивності оптичних емісійних ліній. З метою порівняння загальних характеристик наших галактик з результатами роботи [10] ми визначили для них відношення рентгенівського потоку до оптичного, визначеного за зоряними величинами  $u$ . Логарифми цих відношень наведені в 6 стовпчику табл. 2. Діапазон отриманих значень узгоджується з розподілом відповідних величин, що наведений на рис. 4 роботи [10]. Оскільки наша вибірка була побудована на основі строгого критерію відбору (сильні оптичні емісійні лінії, які чітко вказують на наявність АЯГ, див. [2, 8, 11]), отримані нами показники ступеня рентгенівських спектрів можна вважати характерними для галактик Сейферта. Вони мають середнє значення  $1.5 \pm 0.4$ , яке суттєво менше за отримані нами у [3] показники ступеня для галактик без активних ядер —  $2.3 \pm 0.5$ . Отже, галактики з активними ядрами мають рентгенівські спектри з меншим нахилом, потік випромінювання таких галактик у жорсткому діапазоні (на енергіях вище 2 кеВ) значно більший. Логарифми відношення рентгенівського потоку до оптичного у табл. 2 мають середнє значення  $-1.09 \pm 0.86$ . Отримані значення

дозволяють вказати два параметри рентгенівського спектру галактики, які свідчать про наявність у неї активного ядра:

1. Показник ступеня рентгенівського спектра не перевищує 1.9.
2. Рентгенівський потік складає не менше 1% від оптичного.

Ці умови можуть бути перевірені на інших вибірках якісних рентгенівських спектрів галактик Сейфєрта. Також наведені обмеження можна використовувати для поділу слабких галактик з рентгенівським випромінюванням на галактики з активними ядрами і без них.

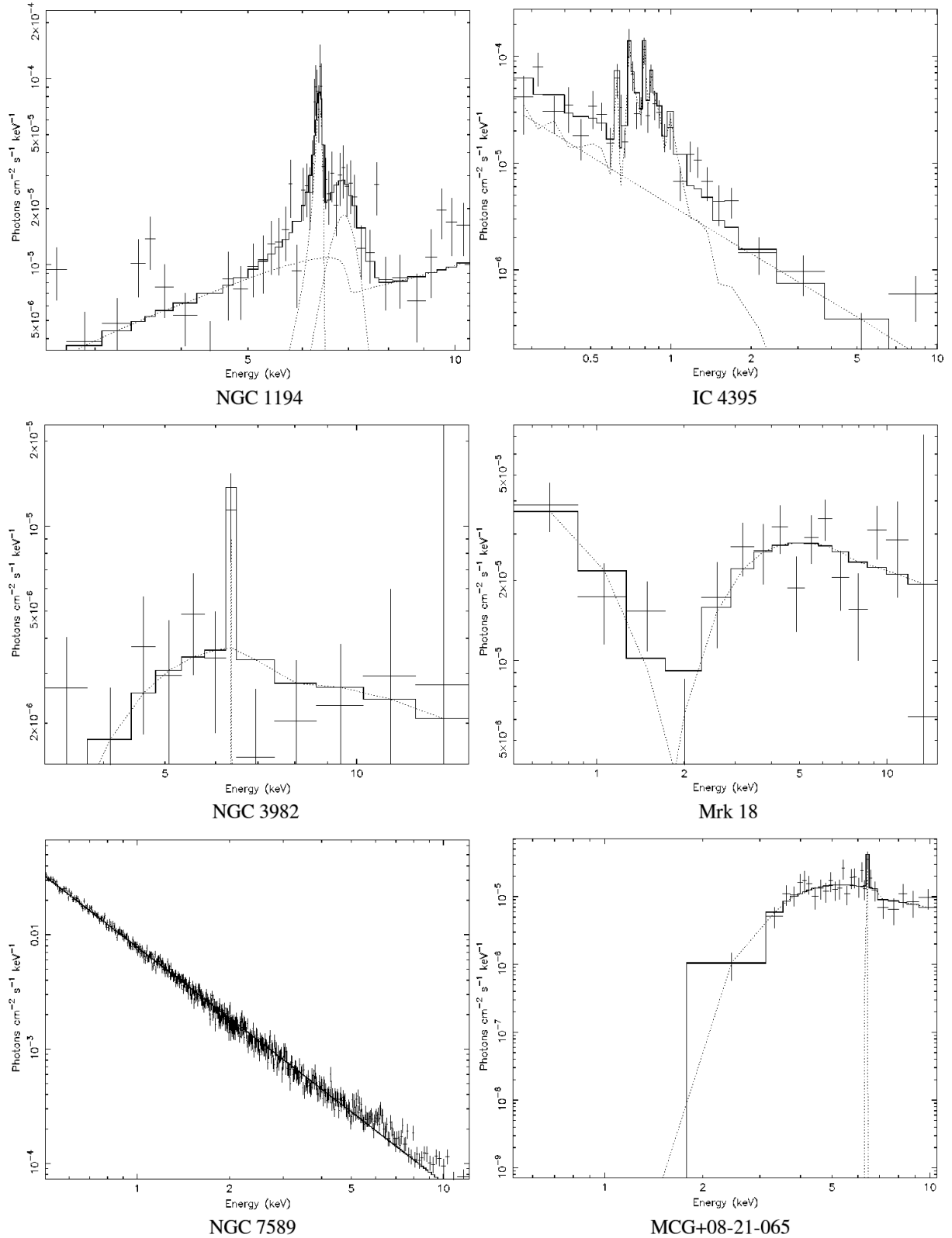


Рис. 2. Рентгенівські спектри активних ядер галактик

#### 4. ВИСНОВКИ

Серед десятків тисяч АЯГ, що можуть бути виявлені за ВРТ-діаграмою (див. [8, 11]) тільки 12 мають сильні оптичні емісійні лінії і одночасно якісні рентгенівські спектри. За архівними даними ХММ можна отримати багато рентгенівських спектрів АЯГ, але при цьому високоякісні оптичні спектри можуть бути важкодоступні.

Ми показали, що АЯГ мають потужніше і жорсткіше рентгенівське випромінювання, ніж галактики з зореутворенням. Сформульований нами критерій може використовуватись для визначення природи рентгенівського випромінювання далеких галактик, для яких неможливо побудувати детальні спектри.

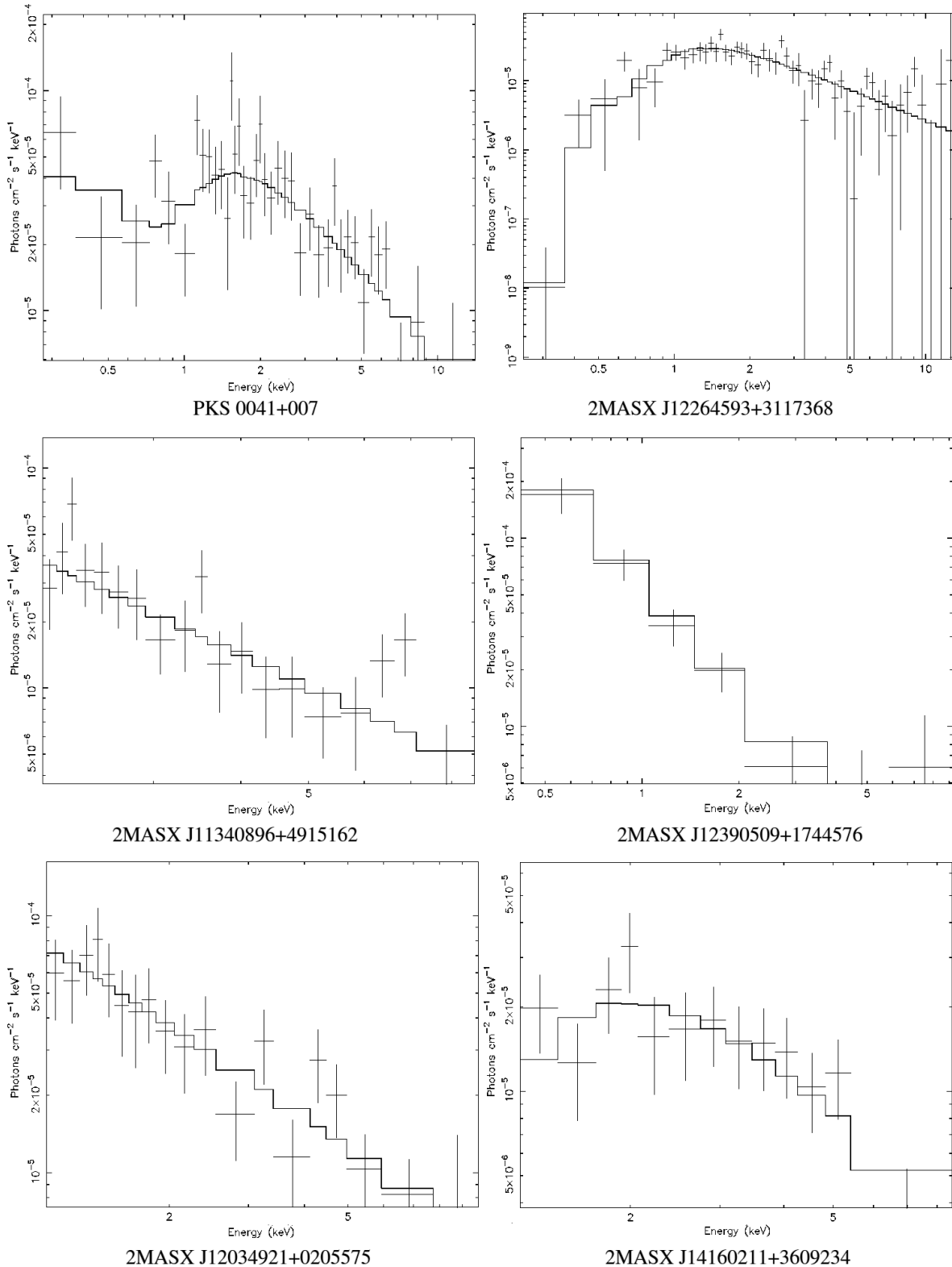


Рис. 2. Рентгенівські спектри активних ядер галактик (продовження)

1. Василенко А.А. Визначення параметрів активного ядра в галактиці NGC1194 // Вісник Київського Університету. Астрономія. — 2012. — **49** (у друці).
2. Тугай А.В., Василенко А.А. Рентгенівське випромінювання галактик з емісійними лініями // Вісник Астрономічної школи. — 2011. — **11**, № 1–2. — С. 114–116.
3. Тугай А.В., Василенко А.А. Рентгеновское излучение галактик без активных ядер // Труды 11-й Гамовской астрономической конференции-школы. Одесса. — 2011. — **24**. — С. 72–74.
4. Anderson S.F., et al. A large, uniform sample of X-ray-emitting AGNs: selection approach and an initial catalog from the ROSAT all-sky and Sloan digital sky surveys // The Astronomical Journal. — 2003. — **126**. — С. 2209–2229.
5. Baldwin J.A., Phillips M.M., Terlevich R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects // PASP. — 1981. — **93**. — P. 5–19.
6. Dickey J.M., Lockman F.J. HI in the Galaxy // ARA&A. — 1990. — **28**. — P. 215–261.
7. González-Martín O., et al. An X-ray view of 82 LINERs with Chandra and XMM-Newton data // A&A. — 2009. — **506**. — P. 1107–1121.
8. Kauffmann G., et al. The host galaxies of active galactic nuclei // MN RAS. — 2003. — **349**. — P. 1055–1077.
9. Noguchi, et al. Scattered X-rays in obscured active galactic nuclei and their implications for geometrical structure and evolution // The Astrophysical Journal. — 2010. — **711**. — P. 144–156.
10. Pineau F.-X., et al. Cross-correlation of the 2XMMi catalogue with Data Release 7 of the Sloan Digital Sky Survey // A&A. — 2011. — **527**. — P. 126–147.
11. Thuan T.X., Pilyugin L.S., Zinchenko I.A. The redshift evolution of oxygen and nitrogen abundances in emission-line SDSS galaxies // The Astrophysical Journal. — 2010. — **712**. — P. 1029–1048.
12. Tugay A.V., Vasilenko A.A. XMM-Newton observations of X-ray pulsar Cen X-3 // YSC'16 Proceedings of Contributed Papers (eds. Choliy V. Ya., Ivashchenko G.) — 2009. — P. 58–61.
13. Winter L.M., et al. Optical spectral properties of Swift Burst Alert Telescope hard X-Ray-selected active galactic nuclei sources // The Astrophysical Journal. — 2010. — **710**. — P. 503–539.
14. Winter L.M., et al. X-ray properties of an unbiased hard X-ray-detected sample of active galactic nuclei // The Astrophysical Journal. — 2008. — **674**. — P. 686–710.
15. Yuan W., et al. Discovery of high-amplitude X-ray variability in the Seyfert-LINER transition galaxy NGC7589 // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2004. — **353**. — P. L29–L33.

Поступила в редакцию 16.08.2012

## НОВІ ВИДАННЯ



**Железняк О.О., Чубко Л.С. Космічна фотограмметрія: навчальний посібник. — К.: НАУ, 2012. — 220 с.**

У посібнику розглянуто основні теоретичні і практичні питання космічної фотограмметрії, зокрема опрацювання космічних зображень, урахування спотворень зображення, зумовлених особливостями умов їх отримання, а також принципи роботи різних приладів, що використовуються як датчики систем космічного знімання, інтерпретації даних і головних алгоритмів корекції, перетворення зображень земних покривів за результатами космічного знімання. Для студентів вищих навчальних закладів.

### Зміст

- Розділ 1. Елементи теорії руху штучних супутників Землі
- Розділ 2. Космічне знімання поверхні планети
- Розділ 3. Опрацювання космічних знімків
- Розділ 4. Застосування зображень Землі з космосу