

# О жестком излучении радиопульсаров

Мария Тимиркеева, И. Малов



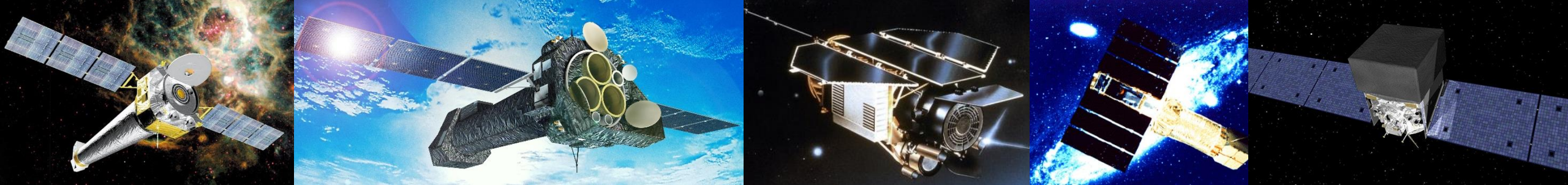
P.N. Lebedev Physical  
Institute of the Russian  
Academy of Science

В настоящее время известно *более 2800 пульсаров*.

- *В основном* они излучают *на радиочастотах (~2500)*;
- *~10* излучает также и *в оптике*;
- тепловое и нетепловое *рентгеновское излучение* наблюдается *от нескольких десятков объектов*;
- заметная эмиссия *в гамма-диапазоне от 200 источников*.

Для понимания места пульсаров с жёстким излучением в общей популяции пульсаров и прояснения механизмов излучения тех и других прежде всего необходимо проанализировать отличие в наблюдаемых параметрах объектов.

Пульсары в двойных системах и шаровых скоплениях исключены из анализа.



## Радиогромкие рентгеновские пульсары

	Name	P	dP/dt	R_lum1400	B_s	dE/dt	B_lc	log L-x	log L_x	log L_γ	log L_calc
		ms		mJy*kpc <sup>2</sup>	G	erg/s	G	2-10 keV	0.1-2 keV	erg/s	erg/s
1	J0030+0451	4,87	1,02E-20	0,06	2,25E+08	3,50E+33	1,83E+04	29,88		32,76	30,10
2	J0101-6422	2,57	5,16E-21	0,28	1,17E+08	1,20E+34	6,42E+04		30,04	32,58	30,78
3	J0117+5914	101,44	5,85E-15	0,94	7,80E+11	2,20E+35	7,00E+03	30,34			31,25
4	J0205+6449	65,72	1,94E-13	0,46	3,61E+12	2,70E+37	1,19E+05	34,08		34,38	33,43
5	J0218+4232	2,32	7,74E-20	8,93	4,29E+08	2,40E+35	3,21E+05	33,20		34,58	32,11
47	J1825-0935	769,01	5,25E-14	1,08	6,43E+12	4,60E+33	1,33E+02		30,20		29,12
48	J1826+1334	101,49	7,53E-14	27,37	2,80E+12	2,80E+36	2,51E+04	34,51			32,35
60	J2229+6114	51,62	7,83E-14	2,25	2,03E+12	2,20E+37	1,39E+05	33,12		34,29	33,40
61	J2337+6115	495,37	1,93E-13	0,69	9,91E+12	6,30E+34	7,64E+02	31,46			30,35

ATNF Pulsar Catalogue



Prinz & Becker, 2015; Possenti et al., 2002  
Abdo et al., 2013; Manchester et al., 2005

# ATNF Pulsar Catalogue



[Catalogue Tutorial](#) | [Documentation](#) | [Expert](#) | [ATNF Pulsar Home](#) | [Pulsar Tutorial](#) | [Glitch table](#) | [Feedback](#) | [Download](#) | [History](#)

Catalogue version: 1.60



GLAST LAT Multiwavelength  
Coordinating Group

Pages

Blog

CHILD PAGES

Fermi LAT Multiwavelength Coord...

Public List of LAT-Detected Gam...

Pages / Fermi LAT Multiwavelength Coordinating Group

## Public List of LAT-Detected Gamma-Ray Pulsars

Created by Paul Ray, last modified by David A. Smith on Oct 19, 2018

The following is a compilation of all publicly-announced gamma-ray pulsars detected using the Fermi LAT. Each of the detections has been vetted by the LAT team, typically requiring a pulsed-detection significance of at least 4 sigma before announcement. We attempt to ensure that the information presented here is correct, but we strongly encourage users to consult the cited literature as the definitive source of information. Note that this list does **not** include all pulsars found in radio searches of LAT sources or other radio pulsars associated with LAT sources **unless** gamma-ray pulsations have been detected. To prevent inadvertent disclosure of private information, Edot column is only populated for pulsars whose discoveries have already been published, not just announced at a conference. Another warning: Edots in this list are NOT corrected for the Shklovskii effect.

Timing models (i.e. par files) for most published gamma-ray pulsars are available from the FSSC at [this page](#). And, a list of all LAT published papers is available [here](#). **NB:** When referencing particulars of any individual published pulsar, *please* cite the original papers and *not* this URL.

**Last Updated:** 2018 October 19 **Fun Fact:** There were 117 pulsars in 2PC and there are now 234 pulsars here, and  $117 \times 2 = 234$ .

# everything below this line is machine-generated

### Summary Statistics

Total number of pulsars: 234

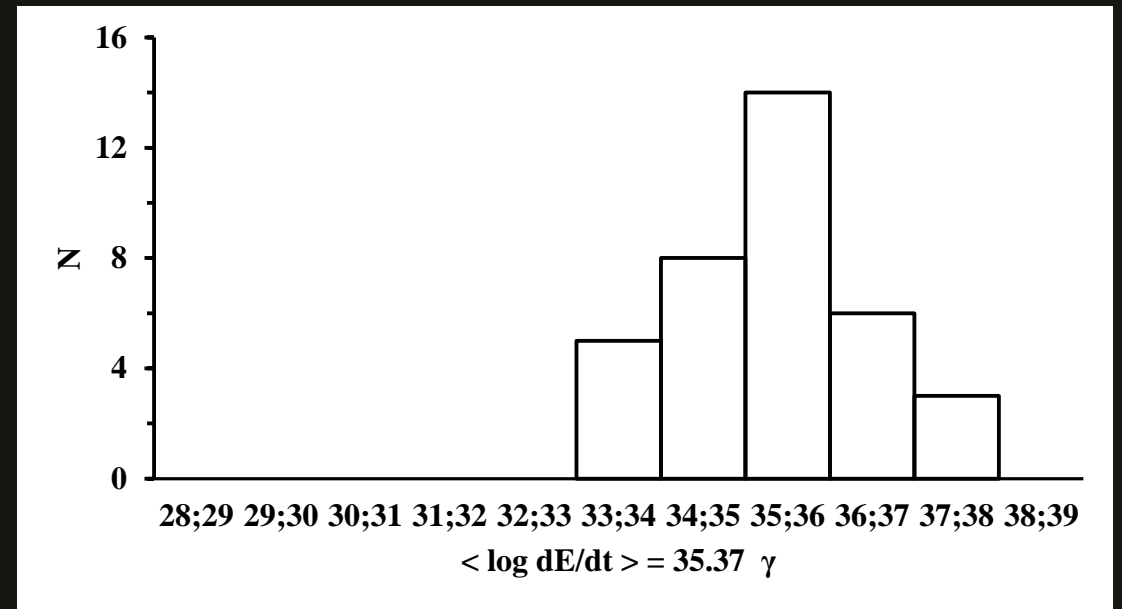
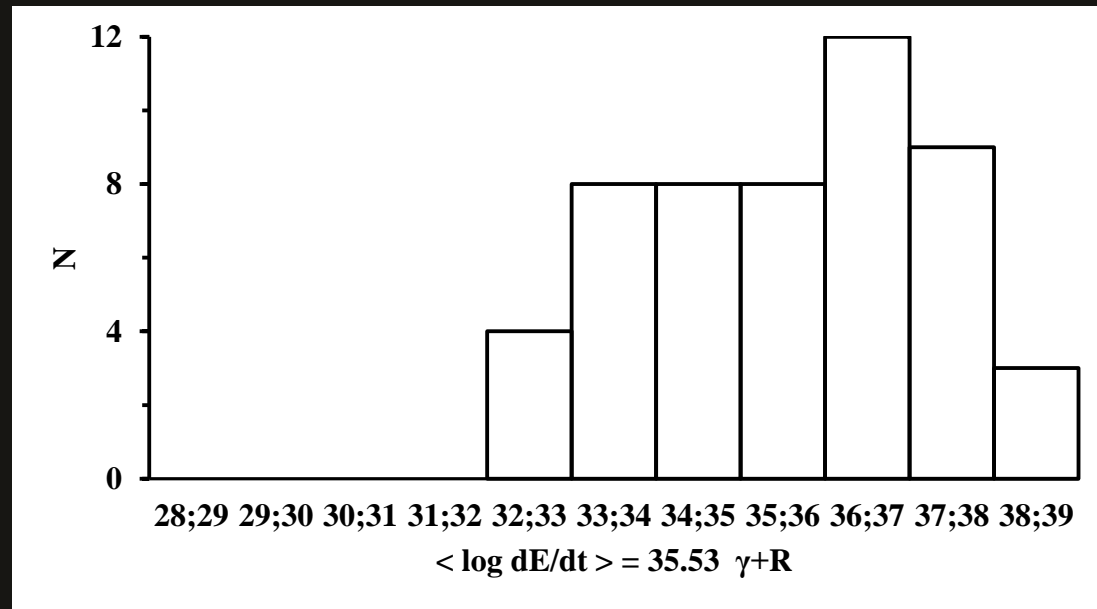
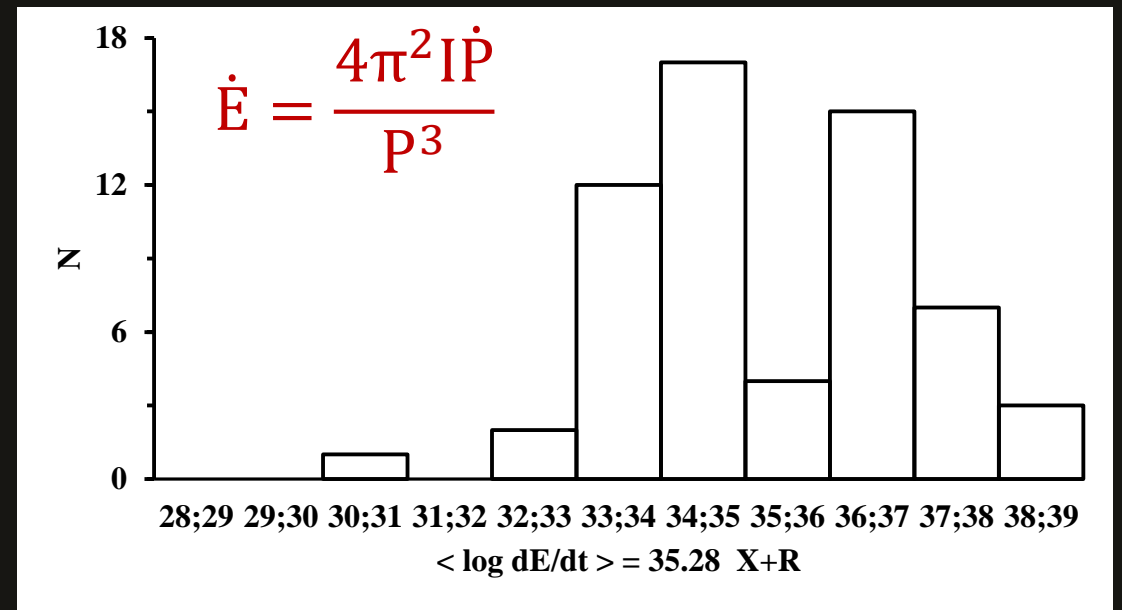
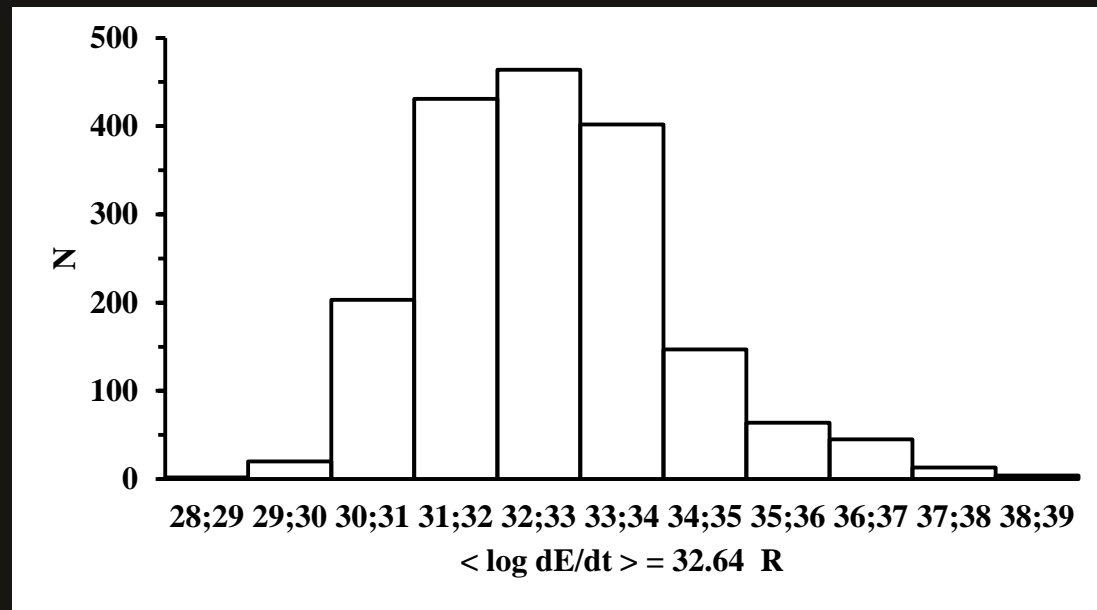
- Young, radio selected: 67
- Young, gamma selected: 59
- Young, X-ray selected: 5
- MSP, radio selected : 100
- MSP, gamma selected : 3
- Found in radio searches of LAT sources : 58
- EGRET/COMPTEL pulsars: 7

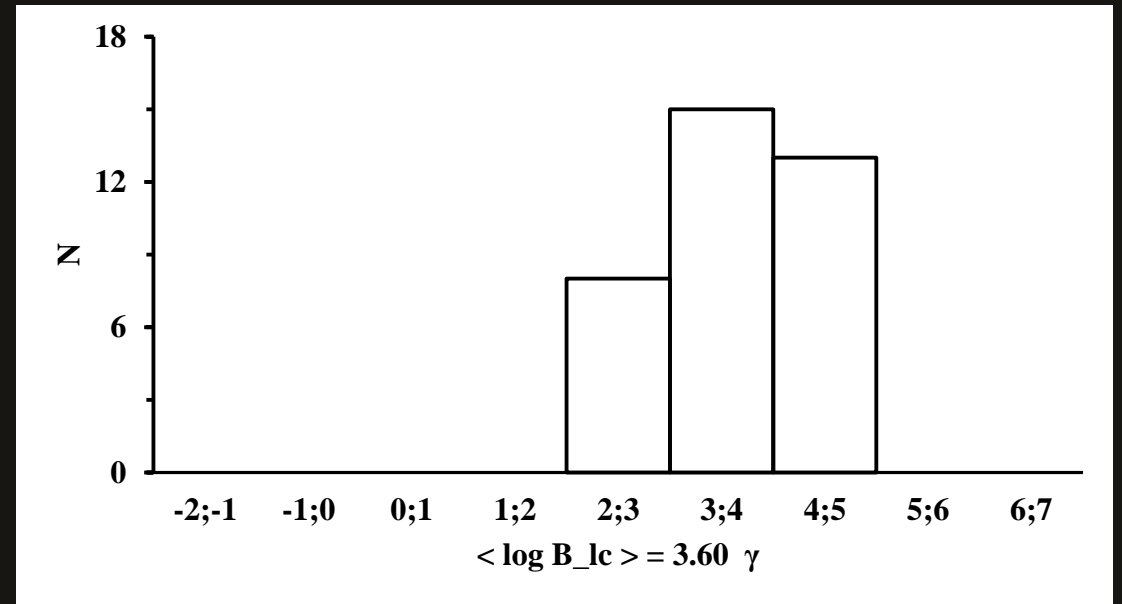
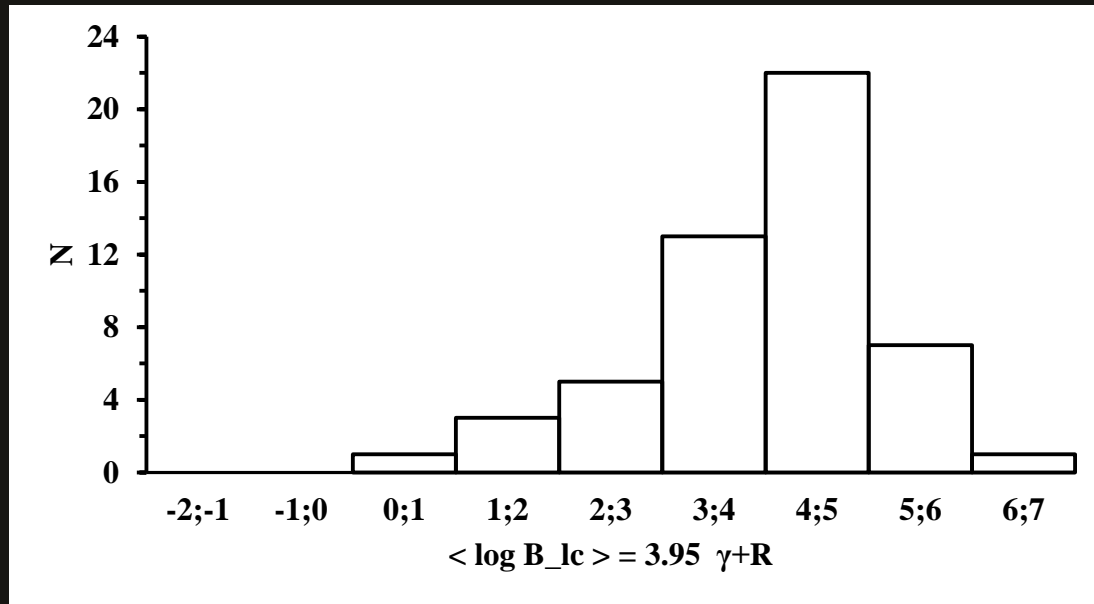
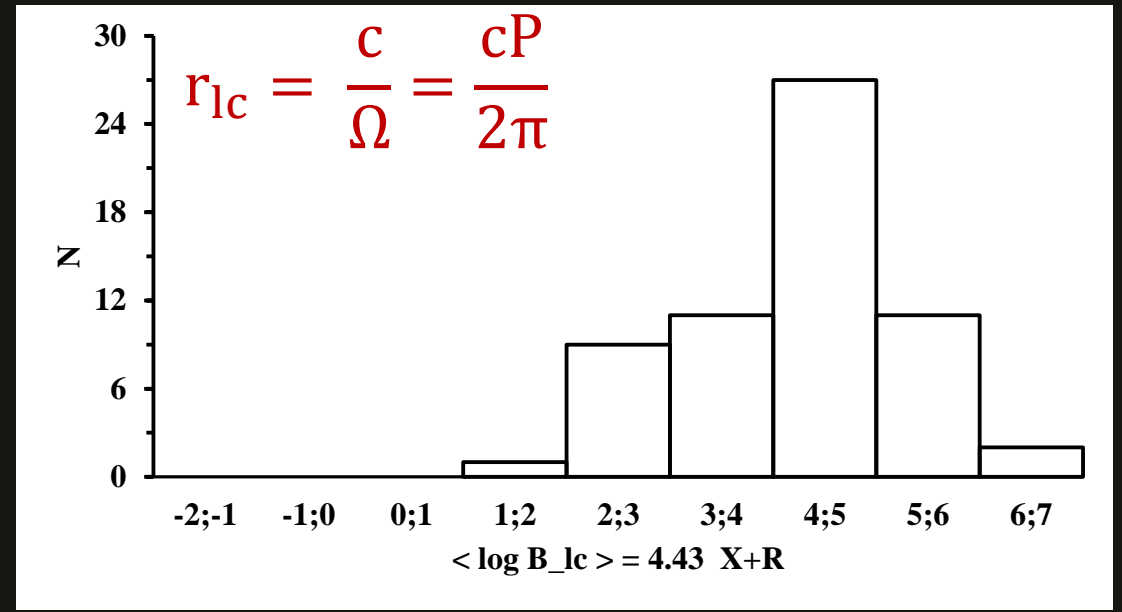
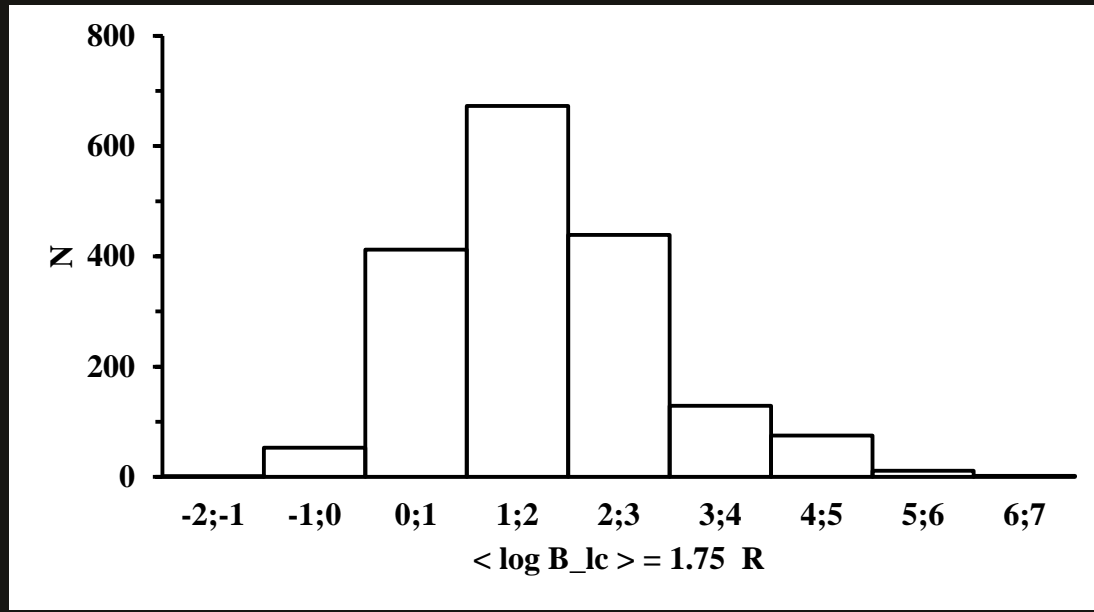
<https://confluence.slac.stanford.edu/display/GLAMCOG/Public+List+of+LAT-Detected+Gamma-Ray+Pulsars>

### Fermi LAT List of Detected Gamma-Ray Pulsars

Name	RAJ (deg)	DECJ (deg)	P (ms)	Edot	Codes	Refs
PSR J0002+6216	0.74	62.27	115.36	1.5e+35	gu	P201,64

3FGL





# Ожидаемые гамма-пульсары $L_\gamma > 10^{33}$ эрг/сек)

	PSR	$R_{lum1400_2}$ (mJy*kpc <sup>2</sup> )	dE/dt (erg/sec)	$B_{lc}$ (G)	$L_\gamma$ ( $10^{33}$ erg/sec)
1	J0117+5914	1.37	2.2E+35	7.00E+03	15.07 ± 7.11
2	J0535-6935	144.18	5.6E+34	1.79E+03	58.39 ± 45.54
18 <sup>a</sup>	J1055-6028	11.44	1.2E+36	1.64E+04	43.44 ± 29.07 (280)
19	J1138-6207	25.33	3.0E+35	7.07E+03	60.82 ± 48.46
20 <sup>b</sup>	J1151-6108	0.30	3.9E+35	9.24E+03	32 (?)
56 <sup>c</sup>	J1739-3023	9.52	3.0E+35	7.24E+03	40.00 ± 25.67 (16.2)
57 <sup>d</sup>	J1740+1000	4.08	2.3E+35	4.72E+03	47.20 ± 32.97 (?)
107 <sup>b</sup>	J2006+3102	8.41	2.2E+35	4.36E+03	40.72 ± 26.37 (?)

<sup>a</sup>X. Hou , D.A. Smith, L. Guillemot et al . A&A, 570, A44 (2014)

<sup>b</sup>D.A. Smith, L. Guillemot, M. Kerr et al. arxiv:1706.03592 (2017)

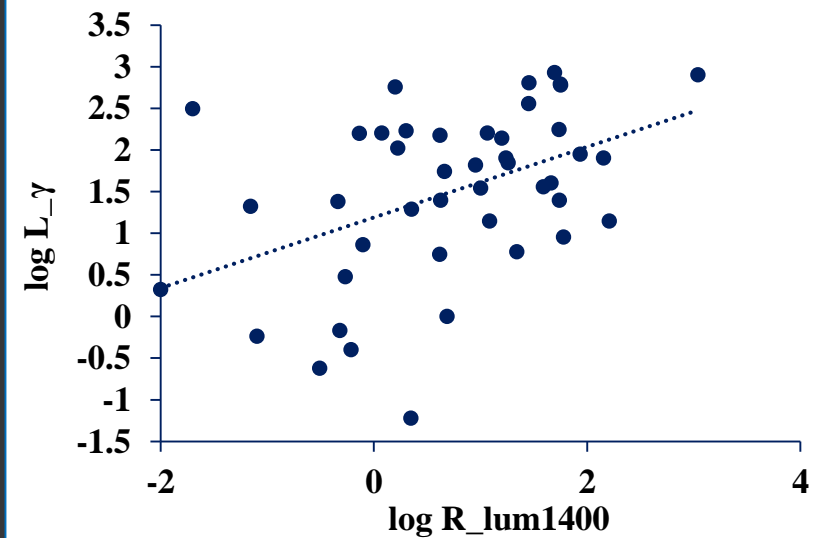
<sup>c</sup>H. Laffon, D.A. Smith, L. Guillemot. arxiv:1502.03251 (2015)

<sup>d</sup>D.A. Smith, P. Bruel, I. Congrad et al. arxiv:1812.00719 (2018)

2 критерия поиска:

$$\frac{dE}{dt} > 3 \times 10^{34} \text{ эрг/сек}$$

$$B_{lc} > 3 \cdot 10^3 \text{ Гс}$$



$$\log L_\gamma = 0.42 \log R_{lum1400} + 1.19$$

$$K = 0.5$$

# Потенциальные радиопульсары

$$\log R_{lum1400} = (0.47 \pm 0.15) \log L_\gamma + (0.03 \pm 0.26)$$

$$S_{1400} = R_{lum1400} / d^2$$

	Name	P(s)	L_gamma	R_lum1400	d (кpc)	S_1400	S_111 [1]
1	J0007+7303	0,316	94,0	8,90	1,40	4,54	203
2 <sup>[2]</sup>	J0633+1746	0,237	31,7	5,35	0,19	148,23	6640
3	J1418-6058	0,111	92,0	8,81	1,89	2,47	110
4	J1732-3131	0,197	8,6	2,91	0,64	7,10	318
5	J1809-2332	0,147	164,0	11,55	0,88	14,91	668
6	J2043+1711	0,002	3,8	1,98	1,48	0,91	41
	J1836+5917	0,173	20,4	4,35	0,30	48,38	2167

[ 1 ] Malov O. I. & Malofeev V.M., ARep, 54, 210, 2010

[ 2 ] Malov O. I., Malofeev V. M., Teplykh D. A., Logvinenko S. V., ARep., 59, 183, 2015

$$S_\nu = S_0 \times \nu^{-\alpha}, \alpha = 1,5$$

$$S_{111} = 44.8 \times S_{1400}$$



Радиоизлучение от гамма-пульсаров генерируется лишь у объектов с большими магнитными полями на световом цилиндре (с максимумом в районе  $10^4$  Гс). Что касается чистых гамма-пульсаров, то для них распределение  $B_{lc}$  близко к однородному, но сами значения поля значительно выше, чем у обычных радиопульсаров, для которых средняя величина  $B_{lc}$  не превышает десятков Гс. Это означает, что генерация высокоэнергичного излучения локализована вблизи светового цилиндра.

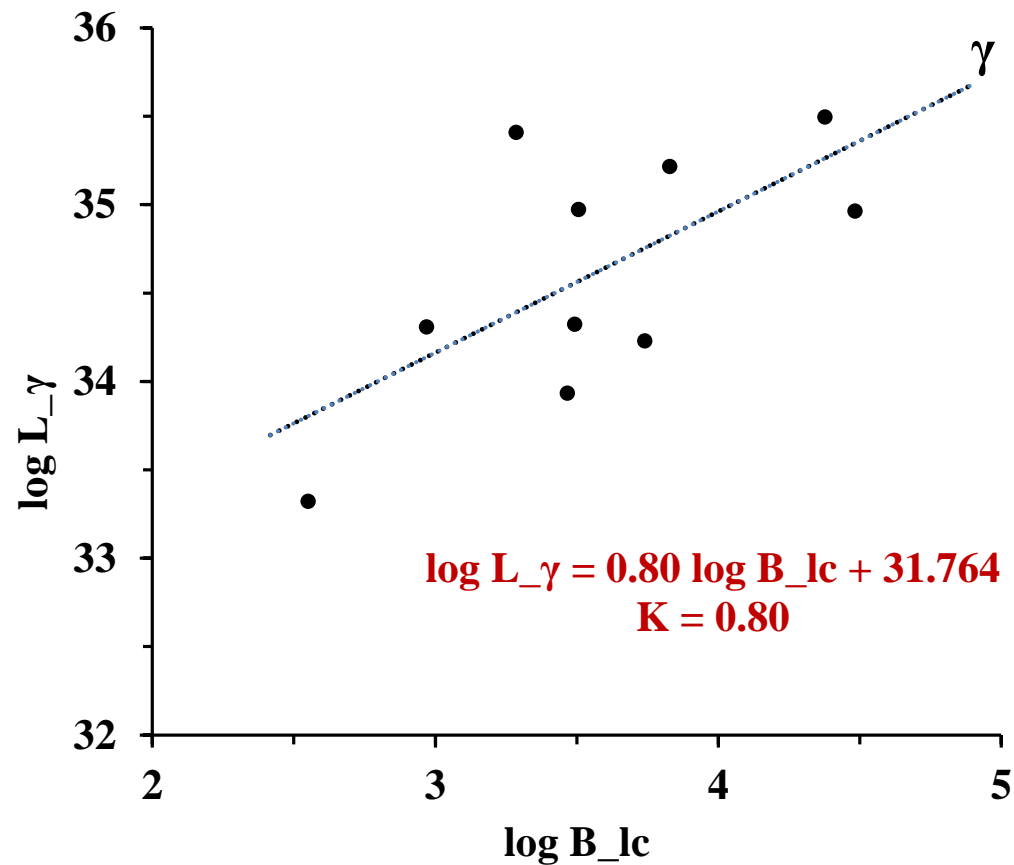
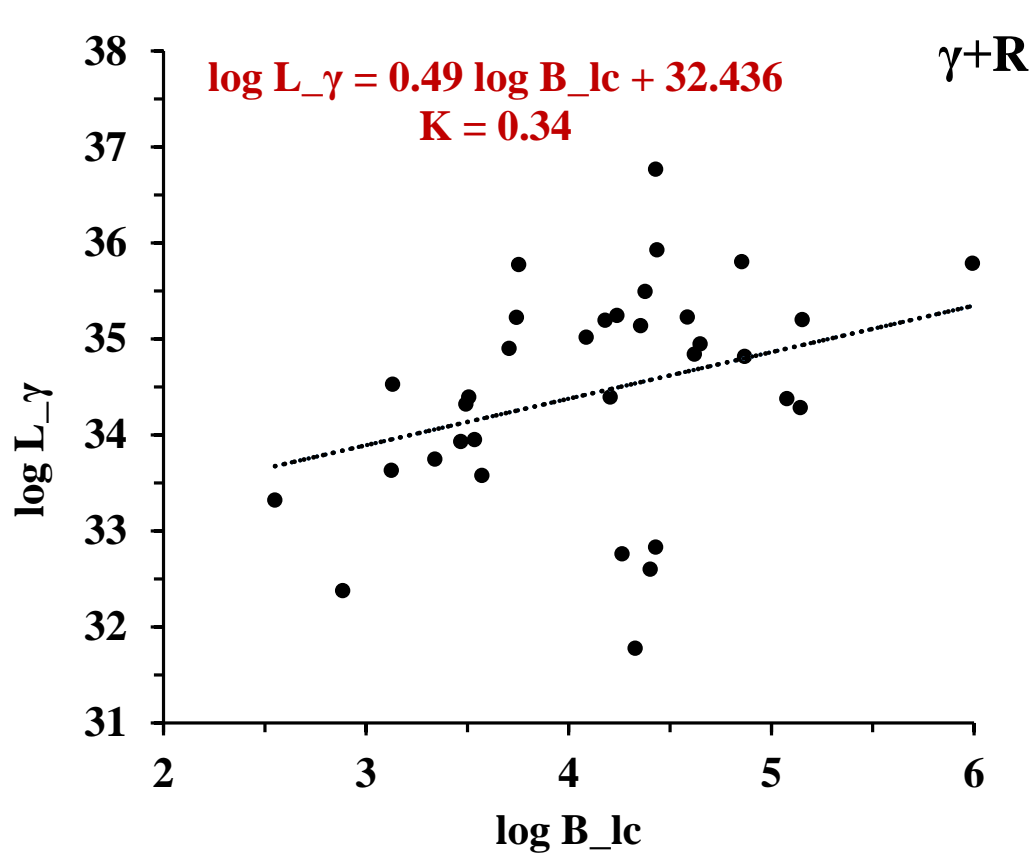
В этой области магнитосферы могут появляться заметные питч-углы у релятивистских электронов и генерироваться синхротронное излучение

$$P_s = \frac{2e^4 B^2 (\sin \Psi)^2}{3m^2 c^3} \gamma^2$$

здесь  $e$  – заряд электрона,  $m$  – его масса,  $\gamma$  – его лоренц-фактор,  $c$  – скорость света. Частота в максимуме синхротронного спектра

$$\nu_{\max} = \frac{0,9eB \sin \Psi}{4\pi mc} \gamma^2$$

Для синхротронного излучения мощность увеличивается с усилением магнитного поля, и, следовательно, должна наблюдаться зависимость между гамма-светимостью пульсара и величиной  $B_{lc}$ .



➤ Тепловое рентгеновское излучение может быть связано:

- с неостывшей в процессе эволюции поверхностью нейтронной звезды ( $T \sim 10^6$  К),
- с разогревом полярной шапки позитронами (или электронами), образовавшимися в каскадном процессе конверсии гамма-квантов ( $T \sim 10^7$  К) и ускоренными электрическим полем,
- с аккрецией из реликтового или нагретого при движении нейтронной звезды через межзвездную среду диска. Частично может давать вклад остаток сверхновой или сохранившаяся после взрыва сверхновой плазма.

➤ Нетепловое излучение может быть объяснено:

- появлением у релятивистских электронов заметного питч-угла на периферии магнитосферы (вблизи светового цилиндра);
- включением синхротронного механизма. В этом случае для рентгеновской светимости может быть получено следующее выражение:

$$L_x \approx \frac{16\pi^8 e^4 R_*^6 I B_s^2 \gamma_r \psi^2 \frac{dP}{dt} \sin^4 \beta}{m^3 c^{11} P^8}$$

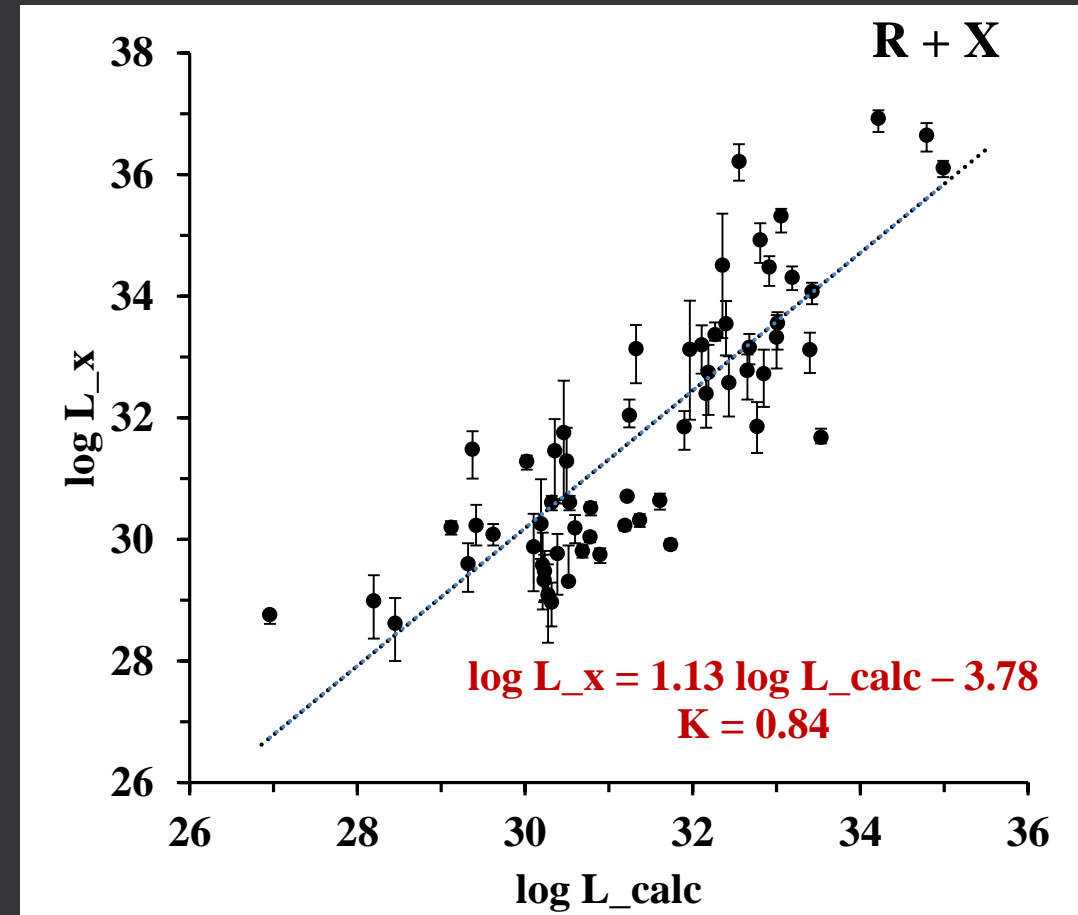
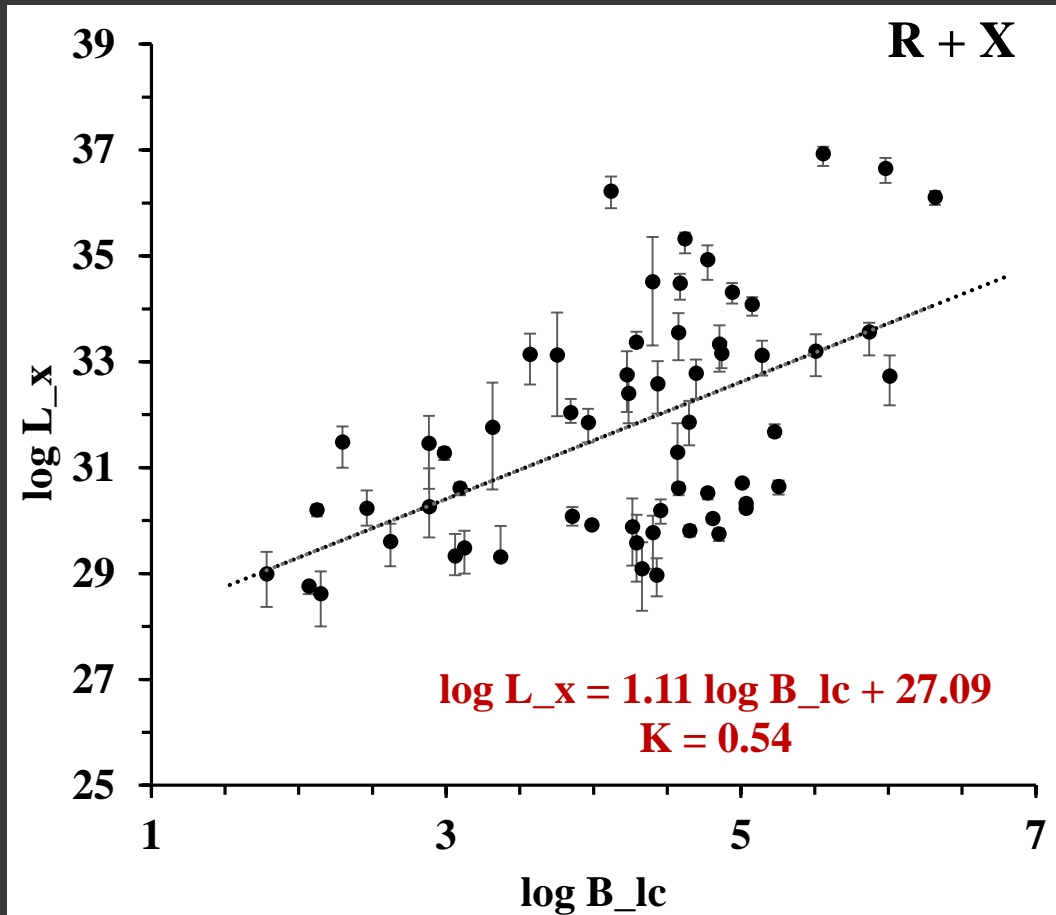
➤ Используя полученное в (Malov & Machabeli, 2002) выражение для  $\psi$

$$\psi = \frac{1}{2} \left( \frac{3 \pi^3 m^5 c^7 \gamma_b^3}{4 e^6 B^4 P^3 \gamma_p^4 \gamma_r^2} \right)^{1/4}$$

приходим к следующей формуле для вычисления ожидаемого значения  $L_{calc}$

$$L_{calc} = \frac{\sqrt{3} \pi^{7/2} e I \frac{dP}{dt} \gamma_b^{3/2}}{32 c^{3/2} P^{7/2} m^{1/2} \gamma_p^2} = 10^{27} \frac{\left(\frac{dP}{dt}\right)_{-15}}{P^{7/2}}$$

# Синхротронное излучение в рентгеновских радиопульсарах

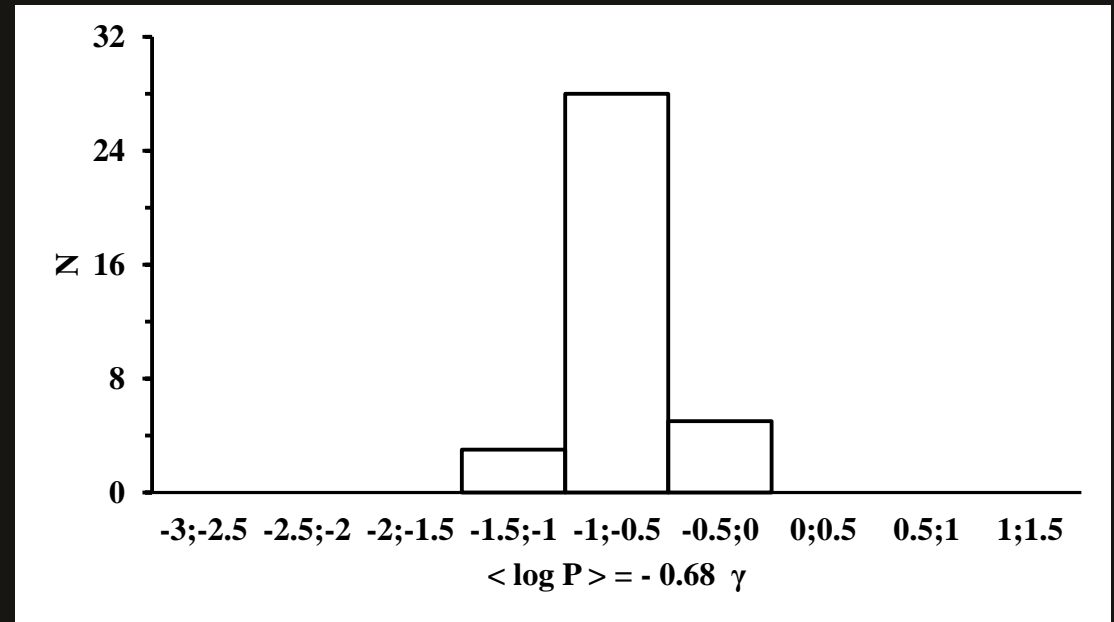
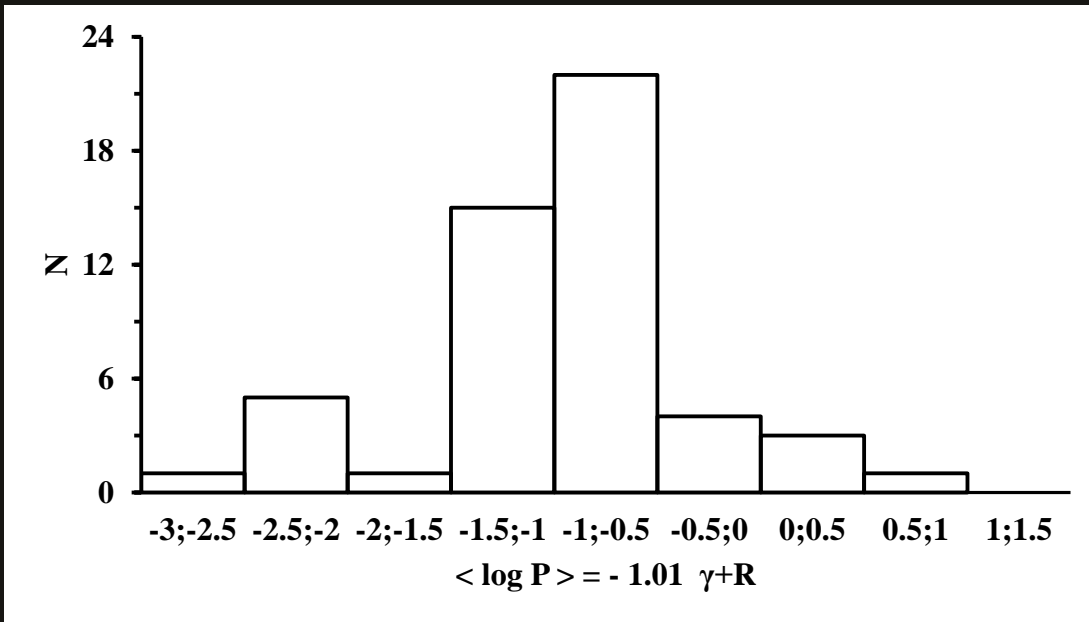
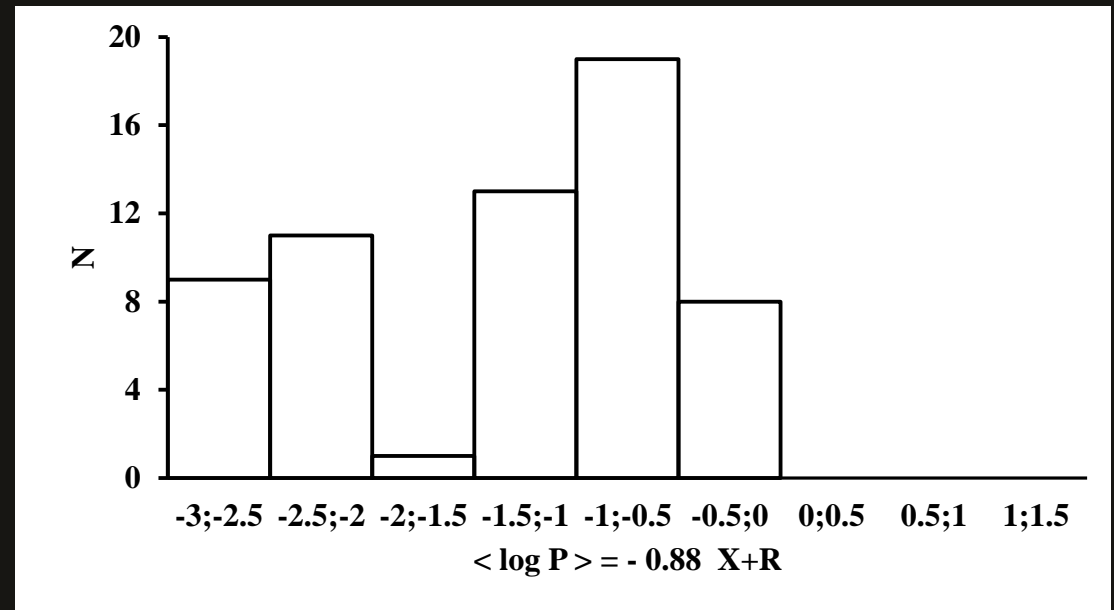
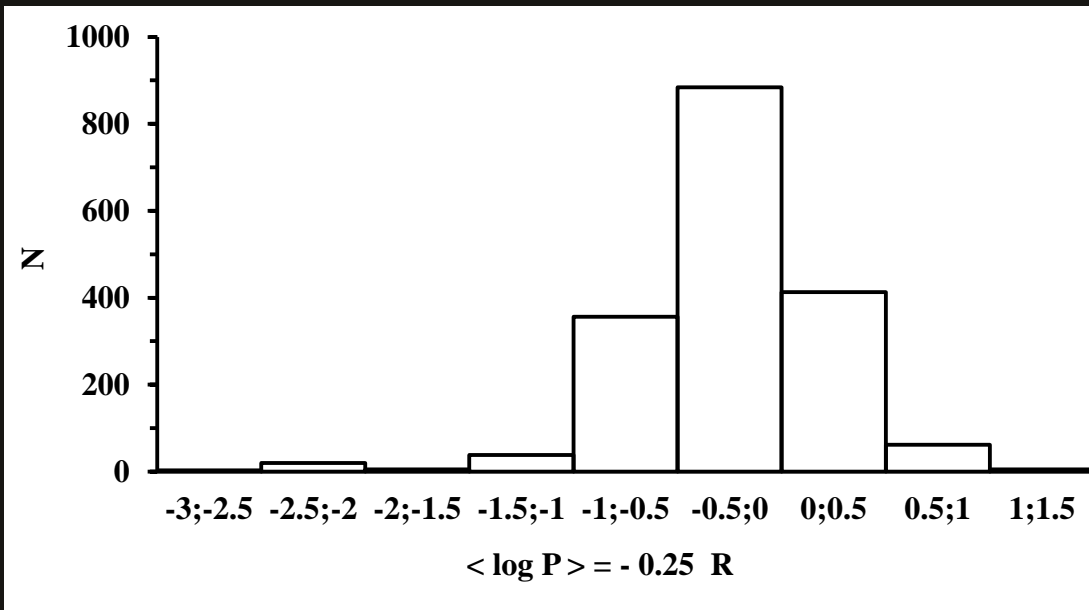


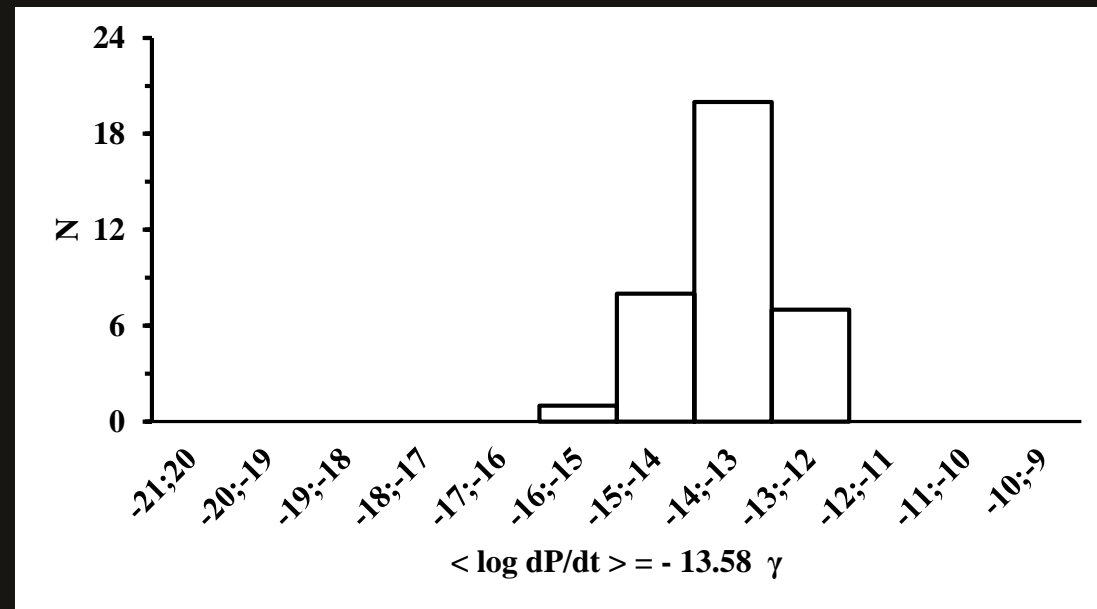
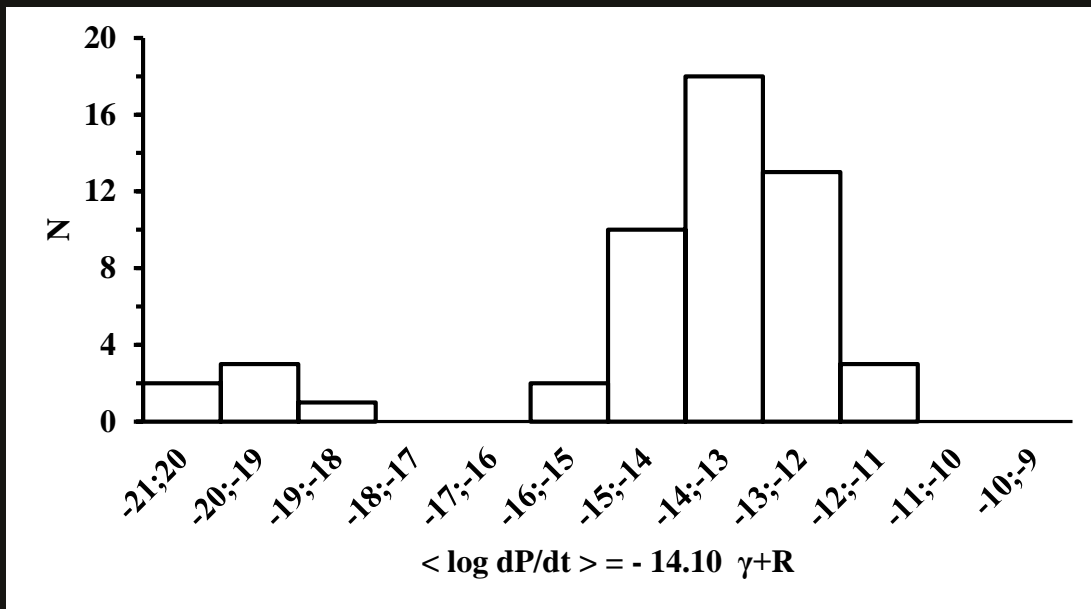
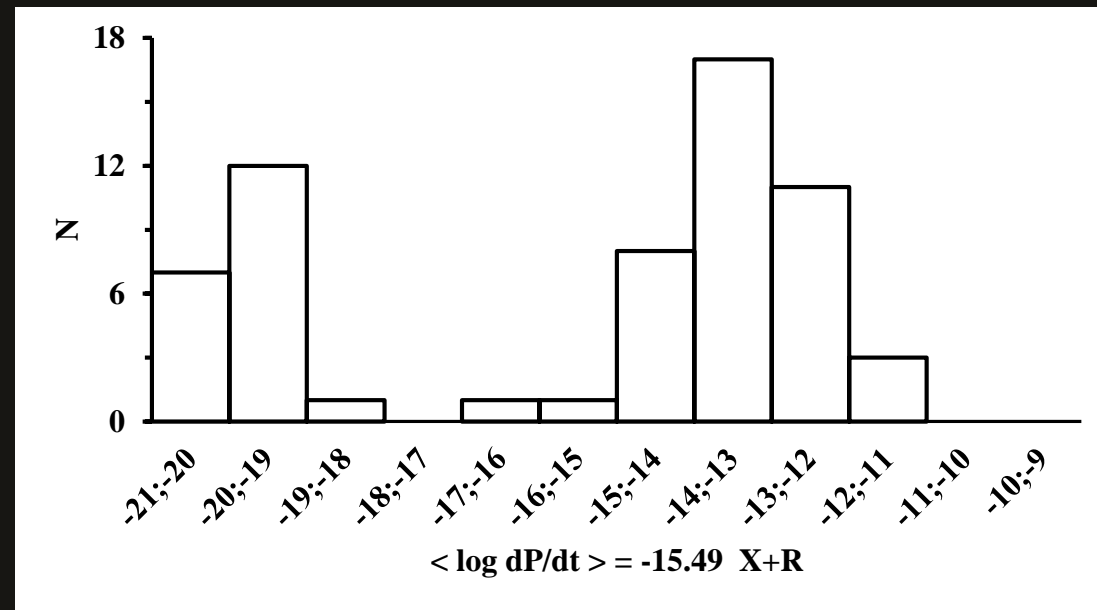
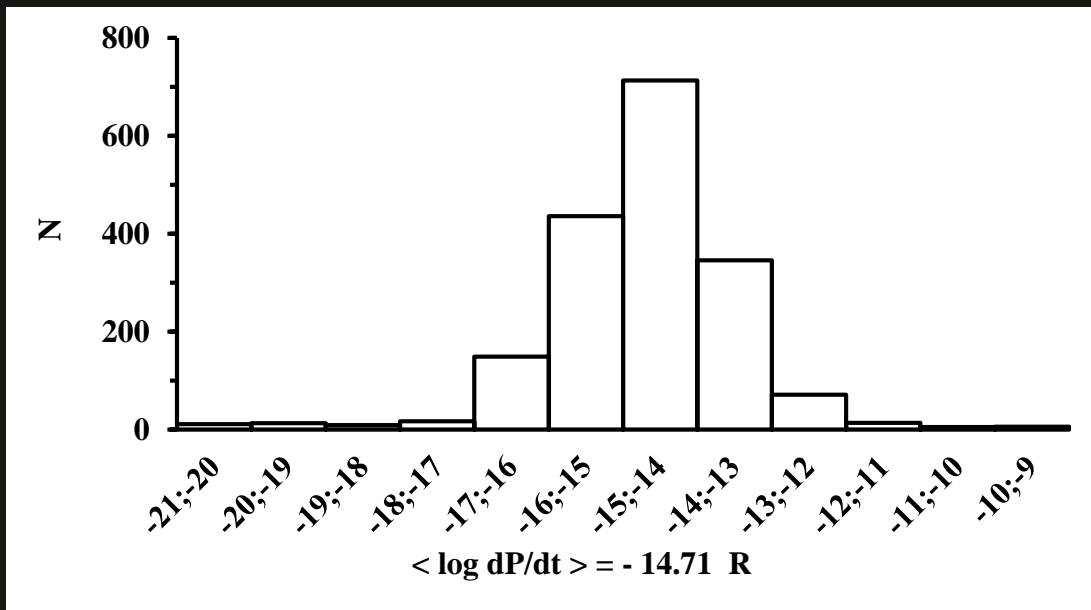
# Выводы

1. Величина  $\frac{dE}{dt}$  у пульсаров с жестким излучением на три порядка выше, чем у обычных радиопульсаров.
2. Магнитное поле на световом цилиндре у пульсаров с жестким излучением ( $\langle \log B_{lc} \rangle \sim 4$ ) на два порядка выше, чем у обычных радиопульсаров ( $\langle \log B_{lc} \rangle = 1.75$ ).
3. Корреляция светимостей в рентгеновском и гамма-диапазонах с магнитным полем на световом цилиндре свидетельствует о генерации нетеплового жесткого излучения на периферии магнитосферы.
4. Предположение о генерации рентгеновского излучения на периферии магнитосферы, возникающее из-за заметного пичт-угла  $\psi$ , подтверждается заметной корреляцией рентгеновской светимости с величиной магнитного поля на световом цилиндре и **сильной корреляцией вычисленных светимостей с наблюдаемыми светимостями.**
5. Обнаружена корреляция между светимостями в гамма и в радио.
6. Составлены списки пульсаров, которые могут наблюдаться в гамма и/или радиодиапазоне со скоростями потерь энергии вращения  $\frac{dE}{dt} > 3 \cdot 10^{34}$  эрг/с и индукцией магнитного поля на световом цилиндре  $B_{lc} > 10^3$  Гс.

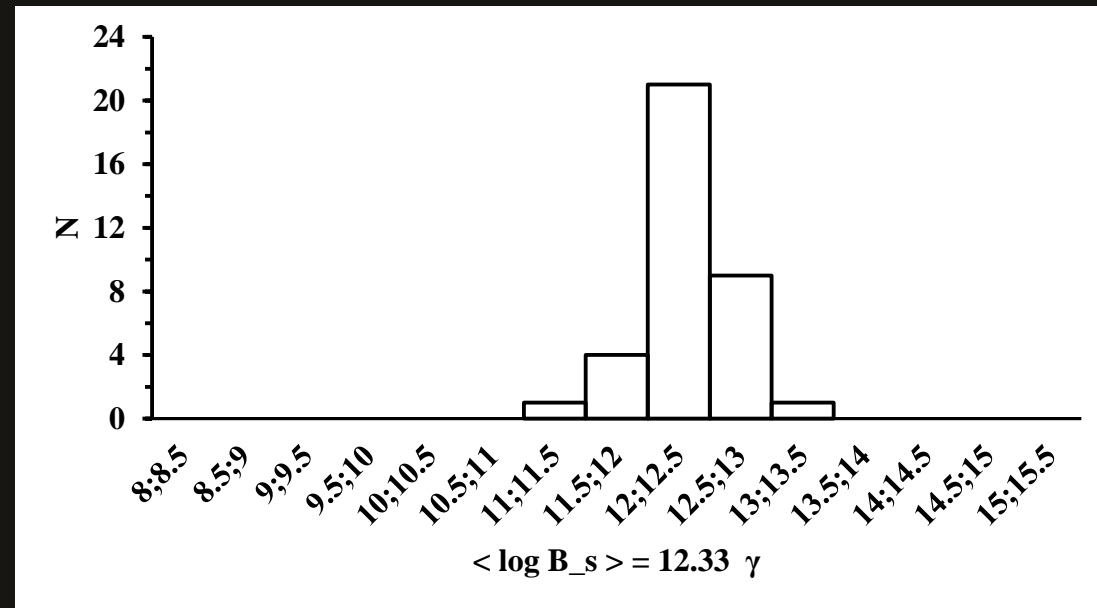
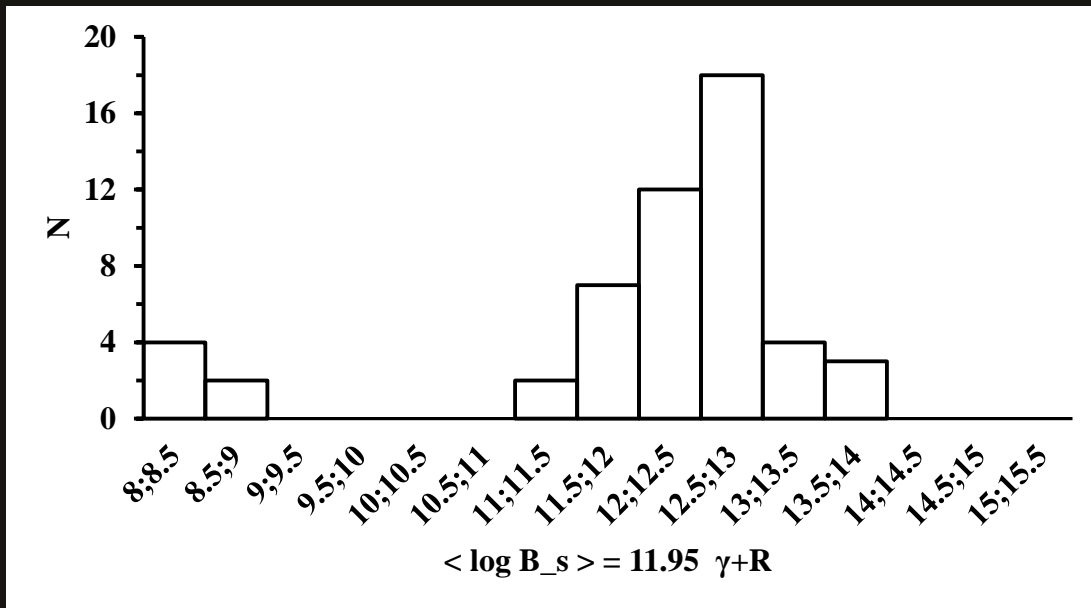
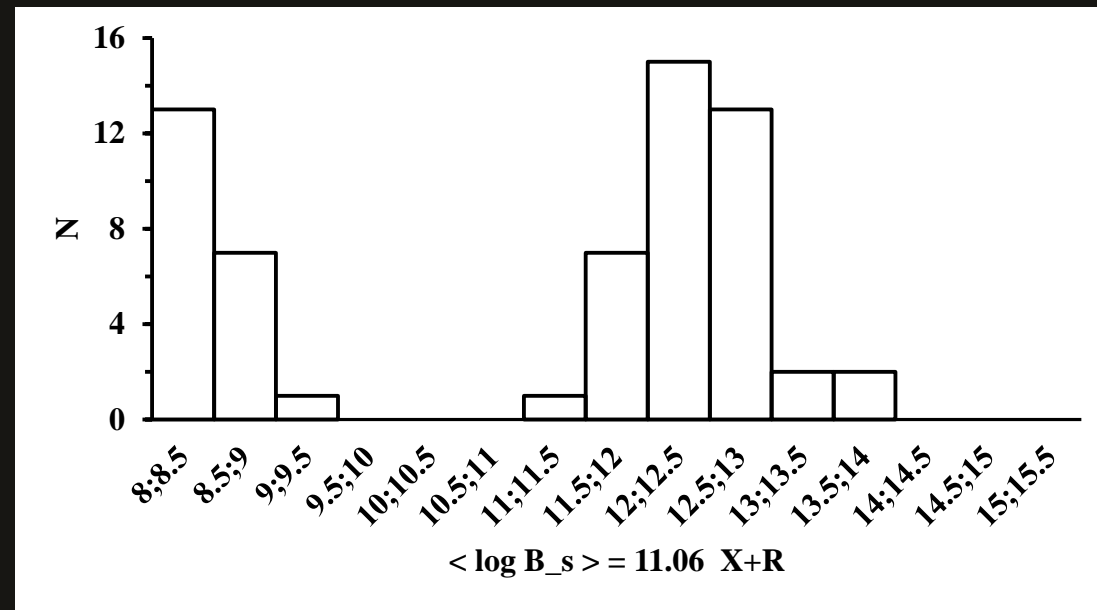
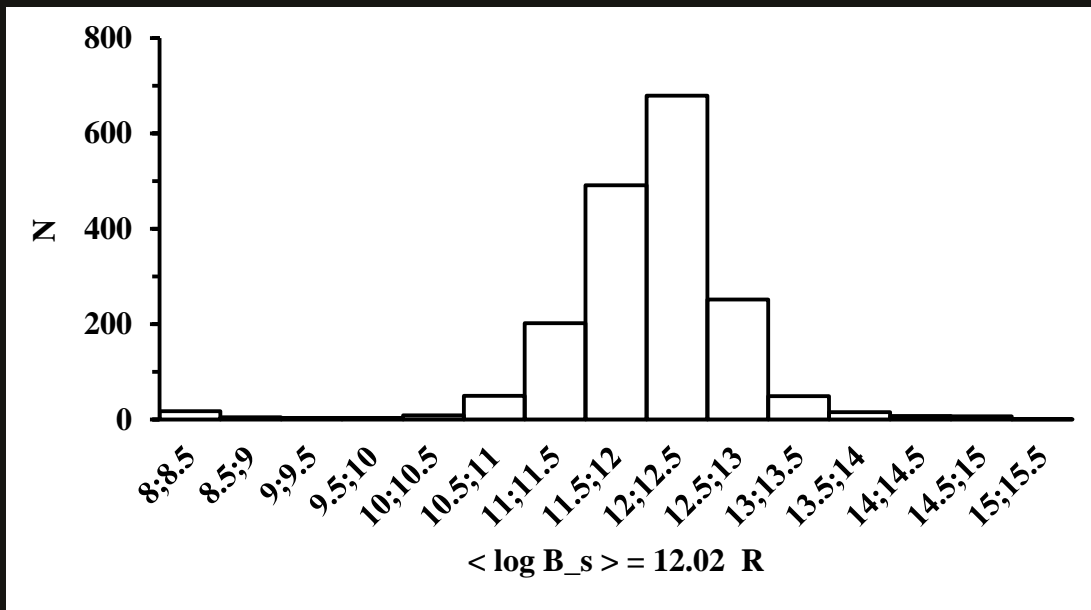


Спасибо за внимание!



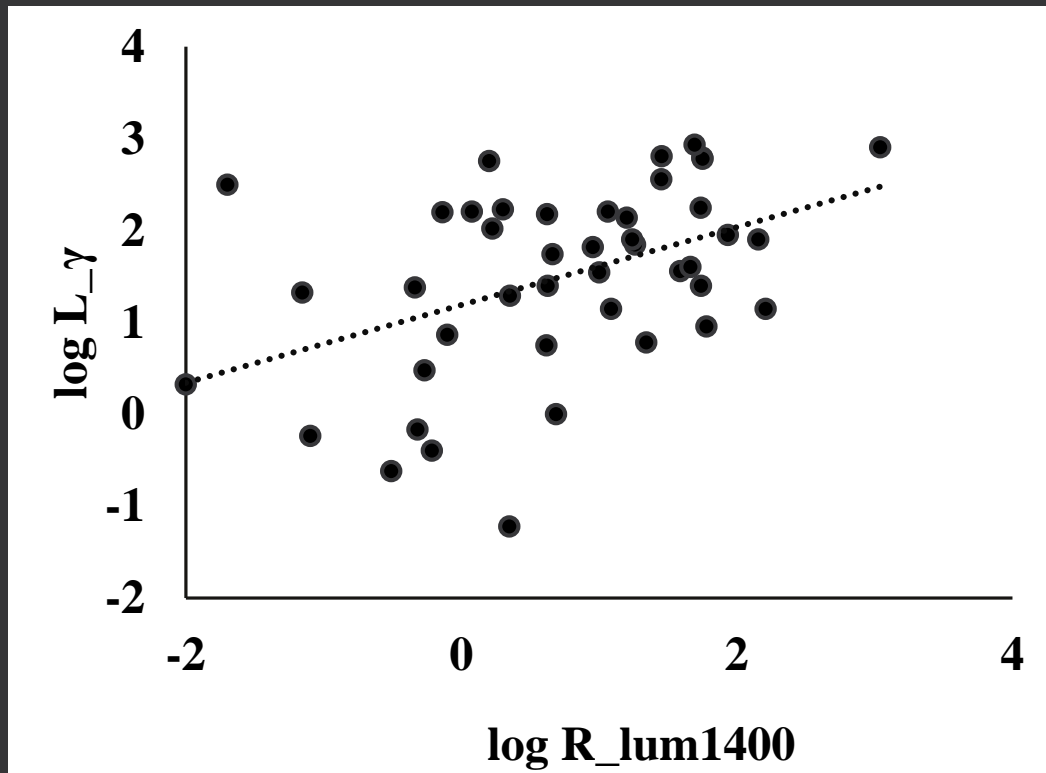






# СВЕТИМОСТЬ - СВЕТИМОСТЬ

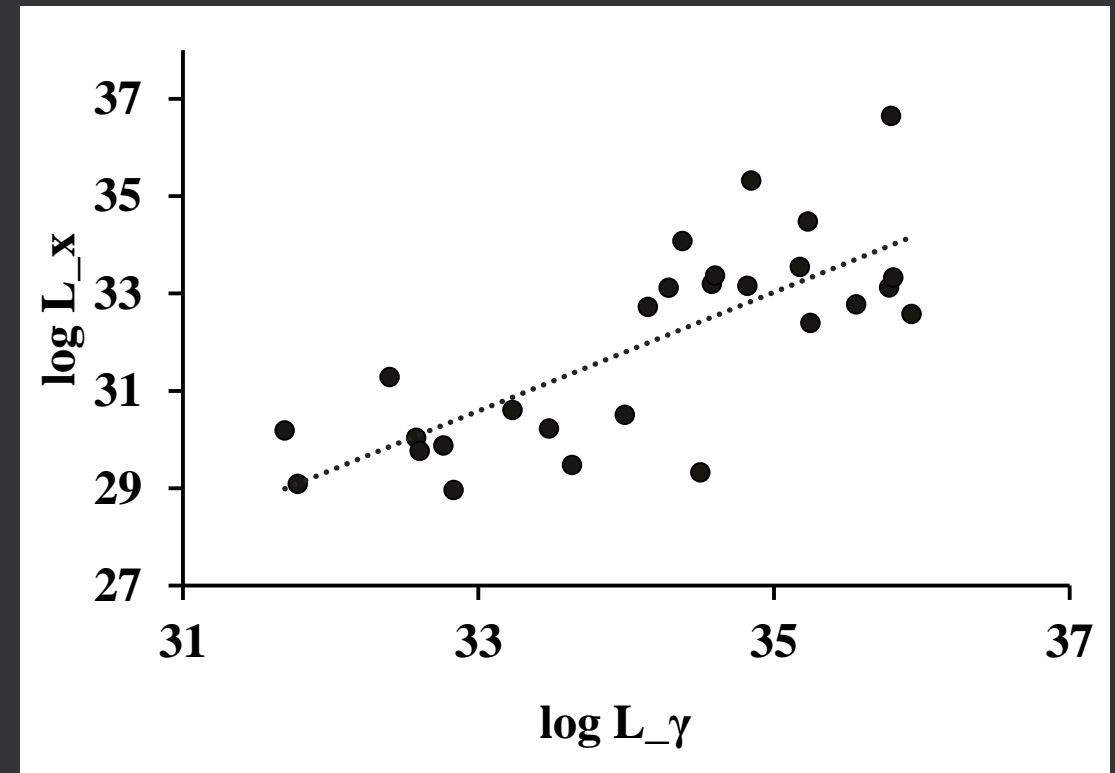
Гамма-светимость  $L_\gamma$  (в  $10^{33}$  эрг/с)  
от радио-светимости  $R_{lum\ 1400}$



$$\log L_\gamma = (0.42 \pm 0.13)\log R_{lum1400} + 1.19 \pm 0.17$$

$K = 0.50$

Сравнение рентгеновской и  
гамма-светимости



$$\log L_x = (1.22 \pm 0.21)\log L_\gamma - 9.67 \pm 7.18$$

$K = 0.76$