

УДК 52-77+52-563, 524.3-77

## ПОИСК ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ МАГНЕТАРА SGR1935+2154

В. А. Фёдорова, А. Е. Родин

*В апреле 2020 года в радиодиапазоне была зарегистрирована сверхмощная вспышка от известного магнетара SGR1935 + 2154. Источник был открыт еще в 2014 году и проявлял активность только в рентгеновском диапазоне. После регистрации мощных импульсов излучение SGR1935 + 2154 наблюдалось в диапазоне частот от 400 до 1400 МГц. В результате мониторинга магнетара на протяжении 2019–2021 годов с помощью радиотелескопа БСА ФИАН на частоте 111 МГц был обнаружен импульс с параметрами:  $DM = 320$  пк/см<sup>3</sup>, флюэнс  $F = 300$  мЯн·мс, величина рассеяния  $\tau = 340$  мс и пиковая плотность потока  $S = 140$  мЯн. Динамический спектр и профиль импульса приводятся в данной работе.*

**Ключевые слова:** нейтронные звезды, радиоизлучение, магнетар, SGR1935+2154, быстрые радиовсплески, FRB, БСА ФИАН.

*1. Введение.* Магнетар представляет собой нейтронную звезду с мощным магнитным полем  $\sim 10^{13} - 10^{14}$  Гс, теоретическое предсказание которой было сделано еще в 1992 году [1, 2]. В 1979 году в гамма- и рентгеновском диапазоне был зарегистрирован яркий сигнал, предположительно испущенный источником в Большом Магеллановом облаке [3]. Первый галактический магнетар, SGR1900+14, был открыт в 1998 году при наблюдении мощной вспышки также в гамма- и рентгеновском диапазоне [4]. Предполагалось, что магнетары являются объектами, излучающими только в двух диапазонах – гамма- и рентгеновском. Но в 1997 году Кузьминым впервые был зарегистрирован сигнал в радиодиапазоне на частоте 102 МГц от известного источника PSR J0633+1746 (Геминга) [5]. На данный момент ученым известен 31 магнетар [6]. Все эти объекты обладают

---

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра ФИАН, 142290 Россия, Пушкино; e-mail: fedorova@pra0.ru, rodin@pra0.ru.

уникальными свойствами, но один из них, SGR1935+2154, вызывает особый интерес.

Впервые вспышка от источника SGR1935+2154 была зарегистрирована в 2014 году [7]. Космическая обсерватория “Чандра” наблюдала пульсации SGR1935+2154 на уровне  $10\sigma$ , что позволило определить источник как кандидат в магнетары. Объект также наблюдался с помощью аппарата Конус-Винд [8]. Оценка продолжительности импульса, равная 1.7 с, и измерение флюенса  $\sim 2.5 \cdot 10^{-5}$  эрг·см<sup>-2</sup> позволили отнести источник к объектам, имеющим редкие промежуточные вспышки в мягком гамма-диапазоне. В результате наблюдений остатка галактической сверхновой G57.2 + 0.8 на частотах 1420 и 408 МГц Козес и др. отождествил его с SGR1935+2154, поскольку оценка возраста, расстояния, поляризации и спектрального индекса остатка показали, что объекты физически связаны [9]. В ноябре 2019 года аппарат Конус-Винд зарегистрировал повышенную активность объекта [10]. Пиковая энергия импульсов в  $\gamma$ -диапазоне достигала  $29.4 \pm 1.9$  кэВ. Вплоть до конца апреля 2020 года иная вспышечная активность не была зарегистрирована.

27 апреля 2020 года телескопами Swift и Fermi/GMB были вновь зарегистрированы вспышки от SGR1935+2154 [11]. Уникальность события состояла в том, что за первые 24 минуты наблюдений было зарегистрировано около 35 отдельных импульсов. При более ранних наблюдениях в пик активности регистрировалось всего несколько вспышек. Менее чем через сутки, 28 апреля, от источника на частоте 400 МГц радиотелескопом CHIME/FRB впервые было зарегистрировано мощное импульсное радиоизлучение [12]. Оценка меры дисперсии импульса составила  $DM = 332.8$  пк/см<sup>3</sup>, что согласуется с ранее полученными оценками модели плотности электронов на луче зрения в Галактике NE2001 [13]. Сигнал имел структуру, состоящую из двух импульсов шириной около 5 мс, разделенных временным интервалом около 30 мс. Благодаря дальнейшим наблюдениям SGR1935+2154 на STARE2 была зарегистрирована вспышка, флюэнс которой составил  $> 1.5$  МЯн·мс [14]. Этот факт позволил утверждать, что явления подобного рода хорошо вписываются в модели, описывающие быстрые радиовсплески (FRB’s), впервые открытые в 2007 году и являющиеся внегалактическими объектами [15, 16].

Поскольку магнетар SGR1935+2154 попадает в поле зрения радиотелескопа БСА ФИАН, было принято решение провести мониторинг источника, начиная с сентября 2019 года по февраль 2021 года. В результате 2 сентября 2020 года был обнаружен импульс на частоте 111 МГц, полные характеристики которого приводятся в разделе 3.

2. *Аппаратура.* Наблюдения магнетара SGR1935+2154 проводились на радиотелескопе БСА ФИАН, который на данный момент является самым чувствительным ин-

струментом в мире. Антенна является инструментом меридианного типа с полем зрения  $\sim 50$  кв. гр. Инструмент имеет многолучевую диаграмму направленности, которая перекрывает участок неба от  $-9^\circ$  до  $+42^\circ$  по склонению. Эффективная площадь радиотелескопа в среднем равна  $\sim 47000$  м<sup>2</sup> в зените и уменьшается пропорционально  $\cos z$ , где  $z$  – зенитное расстояние. Центральная частота приема БСА ФИАН составляет 110.25 МГц с полосой 2.5 МГц. Запись ведется в шести частотных каналах по 415 кГц каждый. Флуктуационная чувствительность антенны составляет 140 мЯн при временном разрешении 0.1 сек [17].

3. *Наблюдения магнетара SGR 1935+2154.* Были обработаны наблюдения источника с 1 сентября 2019 года по 12 февраля 2021 года. Из часовой записи выбирался участок, соответствующий прохождению источника через диаграмму направленности БСА. Для наилучшего выделения сигнала на фоне шумов, при обработке данных к участку записи применялась методика, при которой данные сворачиваются с шаблоном, по форме соответствующим искомому сигналу [18, 19]. Далее проводился визуальный анализ, при котором на динамическом спектре выделялся искомый импульс. Ежедневно источник находился  $\sim 3.5$  мин в поле зрения радиотелескопа. Таким образом, всего было проанализировано около 42 часов наблюдений. За этот период был зарегистрирован импульс 2.09.2020 г. [20].

4. *Результаты.* На сегодняшний день диапазон 109–111.5 МГц является самым низкочастотным, на котором обнаружен сигнал от SGR1935+2154. Измеренная пиковая плотность потока импульса составляет 140 мЯн. Мера дисперсии  $DM$  равна  $320$  пк/см<sup>3</sup>  $\pm 10$  пк/см<sup>3</sup> и в пределах погрешности совпадает со значениями, измеренными ранее [12, 14]. В табл. 1 приведены все параметры обнаруженного импульса.

Т а б л и ц а 1

Параметры зарегистрированного импульса

UTC	2020-09-02, 18:14:59
Мера дисперсии $DM$ , пк/см <sup>3</sup>	320
Плотность потока на 111 МГц, Ян	0.14
Плотность потока, исправленная за диаграмму, Ян	14.6
Отношение С/Ш	6.6
Ширина импульса, сек	2.2
Величина рассеяния, мс	$\sim 340$
Флюэнс, мЯн·мс	$\sim 300$

На рис. 1 приведен динамический спектр в шести частотных каналах, а также профиль зарегистрированного импульса.

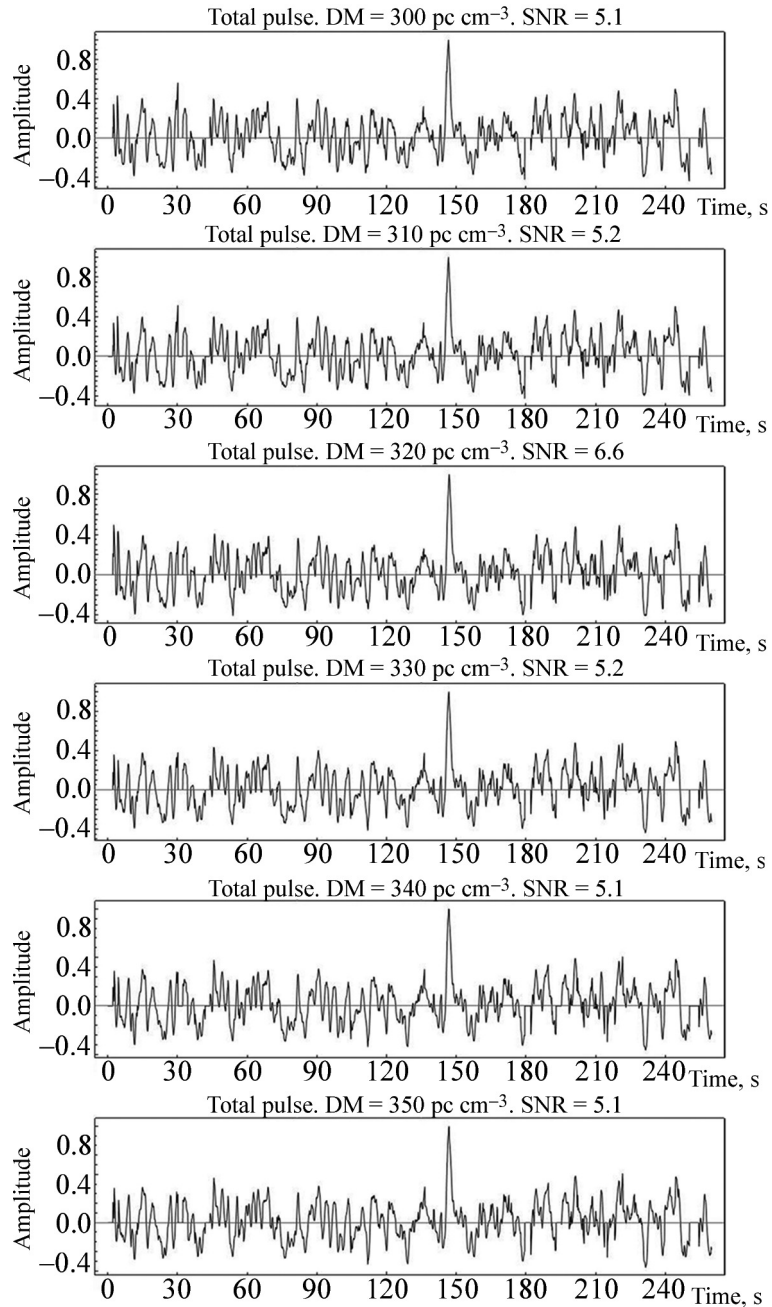


Рис. 1: Профиль зарегистрированного импульса магнетара *SGR1935 + 2154* при различной мере дисперсии. По оси *X* приведено время в секундах, по оси *Y* – амплитуда, приведенная к единичному значению.

С учетом времени прихода импульса можно сделать вывод о том, что сигнал попал на склон главного лепестка радиотелескопа БСА ФИАН. Поэтому оценка плотности потока 140 мЯн была исправлена за диаграмму БСА. Исправленное значение плотности потока приведено в табл. 1.

Как уже было сказано выше, вспышки от магнетаров являются одной из возможных моделей, описывающих возникновение быстрых радиовсплесков. Импульсы от SGR1935+2154 убедительно подтверждают этот факт. Измерения поляризации у нескольких FRB указывают на то, что объекты, породившие столь мощные импульсы, обладают сильным магнитным полем. Кроме того, некоторые повторяющиеся радиовсплески, область возникновения которых локализована, находятся в местах активного звездообразования. Для таких мест также характерно наличие большого количества магнетаров. Нейтронные же звезды могут генерировать вспышки в радиодиапазоне разным образом. Поэтому модель вспышек именно от магнетаров хорошо описывает повторяющиеся быстрые радиовсплески.

*5. Заключение.* В результате анализа данных радиотелескопа БСА ФИАН в период с 1.09.2019 по 12.02.2021 за ~42 часа наблюдений от галактического магнетара SGR1935+2154 был обнаружен импульс 2.09.2020. Параметры импульса, такие как мера дисперсии, рассеяние, плотность потока согласуются со значениями, полученными ранее при наблюдении источника на других инструментах.

Достоверность обнаружения отдельных импульсов была посчитана в работе [19]. Вероятность случайного выстраивания импульсов в динамический спектр оценивается величиной  $< 10^{-12}$ .

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] R. C. Duncan, C. Thompson, *Ap. J.* **392**, L9 (1992). DOI: 10.1086/186413.
- [2] B. Paczynski, *Ac. Astron.* **42**, 1 (1992).
- [3] T. L. Cline, U. D. Desai, G. Pizzichini, et al., *Ap. J.* **237**, L1 (1980). DOI: 10.1086/183221.
- [4] K. Hurley, T. Cline, E. Mazets, et al., *Natur.* **397**(6714), 41 (1999). DOI: 10.1038/16199.
- [5] А. Д. Кузьмин, Б. Я. Лосовский, *АЖ* **25**(2), 108 (1999).
- [6] S. A. Olausen, V. M. Kaspi, *Astr. J. Sup.* **22**(1), 1 (2014). DOI: 10.1088/0067-0049/212/1/6.

- [7] R. Nanda, Chandra proposal ID 15508481, (2014). <https://cda.harvard.edu/chaser/dispatchOcat.do>.
- [8] A. V. Kozlova, G. L. Israel, D. S. Svinin, et al., MNRAS **460**(2), 2008 (2016). DOI: 10.1093/mnras/stw1109.
- [9] R. Kothes, X. Sun, B. Gaensler, W. Reich, Ap. J. **852**(1), 1 (2018). DOI: 10.3847/1538-4357/aa9e89.
- [10] A. Ridnaia, S. Golenetskii, R. Aptekar, et al., GRB Coordinates Network, Circular Service, No. 26242, (2019). <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn/gcn3/26242.gcn3>.
- [11] David M. Palmer, The Astronomer's Telegram, No. 13675, (2020). <https://www.astronomerstelegam.org/?findmsg>.
- [12] P. Scholz on behalf of CHIME/FRB Collaboration, The Astronomer's Telegram, No. 13681, (2020). <https://www.astronomerstelegam.org/?read=13681>.
- [13] J. M. Cordes, T. J. W. Lazio, NE2001.I. A New Model for the Galactic Distribution of Free Electrons and its Fluctuations // arXiv (2002), astro-ph/0207156.
- [14] C. Bochenek, S. Kulkarni, V. Ravi, et al., The Astronomer's Telegram, No. 13684, (2020). <https://www.astronomerstelegam.org/?findmsg>.
- [15] Ya. N. Istomin, MNRAS **478**(4), 4348 (2018). DOI: 10.1093/mnras/sty1432.
- [16] D. R. Lorimer, M. Bailes, M. A. McLaughlin, et al., Science **318**(5851), 777 (2007). DOI: 10.1126/science.1147532.
- [17] В. В. Орешко, Г. А. Латышев, А. И. Алексеев и др., Труды ИПА, вып. 24, 80 (2012). ISBN 978-5-02-038192-6.
- [18] В. А. Фёдорова, А. Е. Родин, АЖ **96**(1), 41 (2019). DOI: 10.1134/S0004629919010031.
- [19] В. А. Фёдорова, А. Е. Родин, АЖ **96**(11), 883 (2019). DOI: 10.1134/S0004629919110033.
- [20] A. Rodin, V. Fedorova, The Astronomer's Telegram, No. 14186, (2020). <https://www.astronomerstelegam.org/?findmsg>.

Поступила в редакцию 2 марта 2021 г.

После доработки 30 августа 2021 г.

Принята к публикации 31 августа 2021 г.