Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2026. С. 331–334.

УДК 621.396.62 + 520.8.056 + 520.224.7
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-331
ORCID: 0009-0009-7137-4652

КОМПЛЕКСНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ О НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКАХ: РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ И ОПТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ

П.Е. Продан[1], С.И. Книжин[1,2], В.П. Лебедев[2], А.А. Чернышов[3], М.В. Еселевич[2], А.С. Прядунец[1]

[1]Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия,
prodanpavel@yandex.ru
[2]Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия
[3] Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

COMPREHENSIVE DATA ACQUISITION OF LEO SATELLITES: RADIOPHYSICAL AND OPTICAL APPROACHES

P.E. Prodan[1], S.I. Knizhin[1,2], V.P. Lebedev[2], A.A. Chernyshov[3], M.V. Eselevich[2], A.S. Pryadunets[1]

[1]Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, prodanpavel@yandex.ru
[2]Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
[3] Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Аннотация. В данной работе приведена часть результатов комплексного мониторинга параметров низкоорбитальных спутников «Ионосфера-М» за период с 18 по 29 марта 2026 г. Данные были получены с помощью двухканального цифрового когерентного приемника сигналов на частотах 150 и 400 МГц, Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) и широкоугольного оптического телескопа АЗТ-33ВМ.

Ключевые слова: низкоорбитальные спутники, Ионосфера-М, радиомаяк, цифровой приемник, радар некогерентного рассеяния, оптический телескоп.

Abstract. This paper presents part of comprehensive monitoring results of parameters of the Ionosfera-M low-Earth orbit satellites during the period from March 18 to 29, 2026. Data were acquired using the two-channel digital coherent signal receiver operating at frequencies of 150 and 400 MHz, the Irkutsk Incoherent Scatter Radar (IISR), and the AZT-33VM wide-angle optical telescope.

Keywords: low-Earth orbit satellites, Ionosfera-M, radio beacon, digital receiver, incoherent scatter radar, optical telescope.

ВВЕДЕНИЕ

Низкоорбитальные спутники являются важным инструментом в исследованиях ионосферы. Среда, в которой находятся космические аппараты (КА), влияет на их работу и траекторию полета. Мониторинг параметров спутников позволяет получать информацию, благодаря которой можно не только корректировать работу бортовых систем и оценивать оставшийся срок службы, но также определять и прогнозировать их положение на орбите.

В данной работе приведена часть результатов комплексных измерений параметров низкоорбитальных спутников «Ионосфера-М» во время пролета в марте 2026 г.

ИНСТРУМЕНТЫ МОНИТОРИНГА

Для мониторинга параметров КА «Ионосфера-М» применялись двухканальный цифровой когерентный приемник, настроенный на частоты 150 и 400 МГц, установленный в астрофизическом комплексе МГУ–ИГУ, Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) и широкоугольный оптический телескоп АЗТ-33ВМ, расположенные в обсерваториях Института солнечно-земной физики СО РАН.

Двухканальный приемник основан на программно-определяемом радио (SDR). Он состоит из двух SDR HackRF One, которые синхронизированы между собой по тактовой частоте и началу записи. С помощью данного приемника записываются I/Q-компоненты сигналов, по которым в дальнейшем можно построить спектрограмму за время пролета спутников.

ИРНР является единственным радаром некогерентного рассеяния на территории России. Он представляет собой моностатическую импульсную радиолокационную станцию с частотным сканированием луча [Кушнарев и др., 2017; Zherebtsov et al., 1999]. Благодаря ИРНР были получены измерения дальности, угла места, азимута и эффективной площади рассеяния КА.

Широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ представляет собой светосильную оптическую систему, основанную на модифицированной схеме Ричи — Кретьена с предфокальным корректором [Денисенко и др., 2009; Еселевич и др., 2017]. С помощью АЗТ-33ВМ измерялись блеск, склонение и прямое восхождение КА.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Низкоорбитальные спутники «Ионосфера-М» № 1, 2, 3, 4 являются частью космического комплекса «Ионозонд». Они оснащены научной аппаратурой, позволяющей измерять параметры ионосферной

плазмы. Далее приведена часть результатов измерений, полученная в период пролета КА «Ионосфера-М».

На рис. 1, 3, 5, 7 представлены изменение блеска и положение спутника на небесной сфере (⟨ — прямое восхождение, ™ — склонение).

На рис. 2, 4, 6, 8 приведены спектрограммы, построенные на основе принятых сигналов с бортового двухчастотного передатчика «МАЯК 150/400».

Представленные результаты распределены по времени, причем после каждого изображения, демонстрирующего изменение блеска и положение КА, приведены спектрограммы принятых сигналов, соответствующие наиболее близким по времени измерениям.

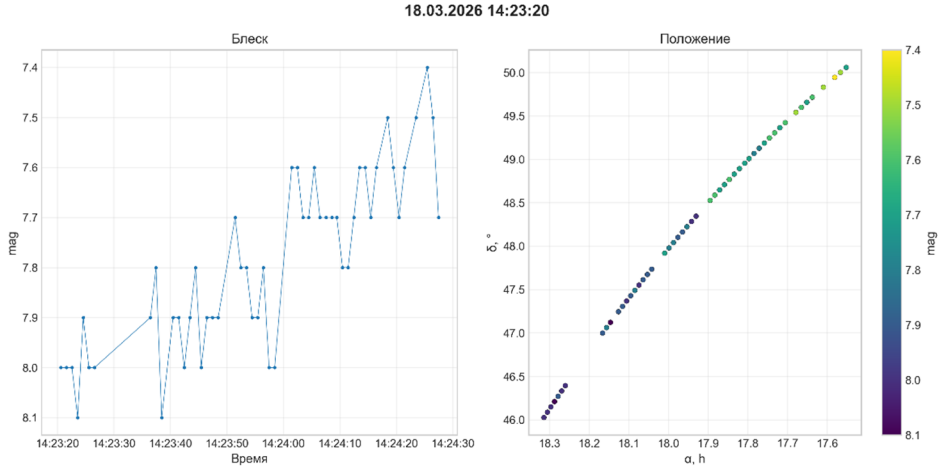

Рис. 1. Изменение блеска и положение КА «Ионосфера-М» № 4 начиная с 14:23:20 LT 18.03.2026

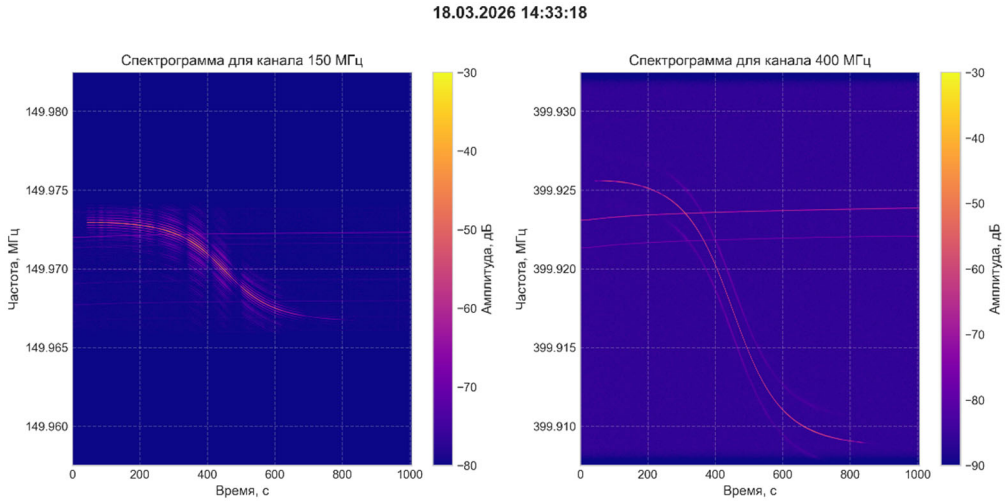

Рис. 2. Спектрограмма пролета КА «Ионосфера-М» № 4 начиная с 14:33:18 LT 18.03.2026

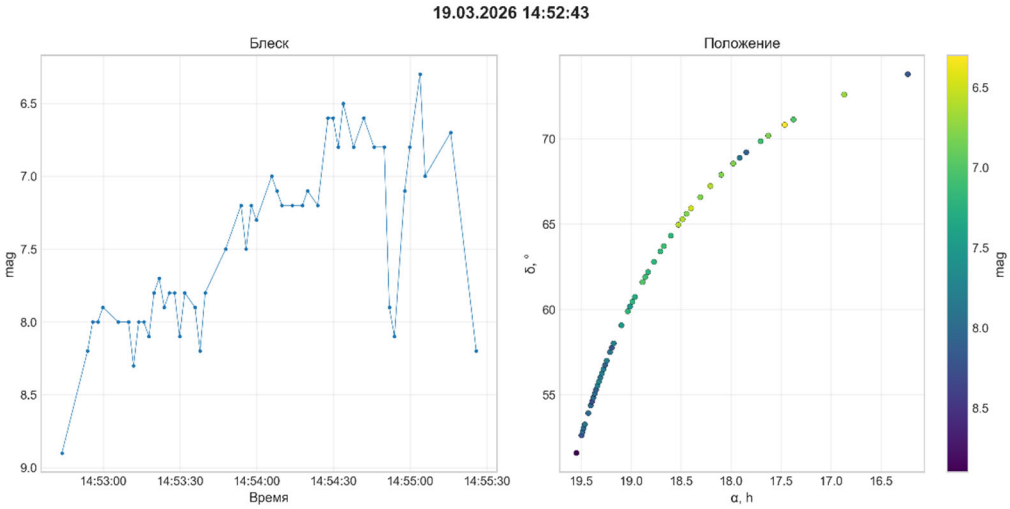

Рис. 3. Изменение блеска и положение КА «Ионосфера-М» № 3 начиная с 14:52:43 LT 19.03.2026

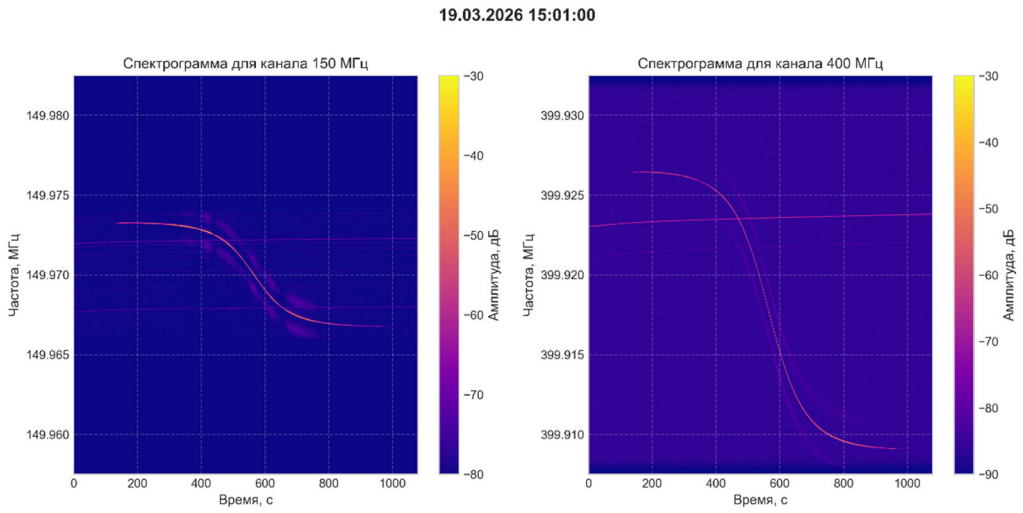

Рис. 4. Спектрограмма пролета КА «Ионосфера-М» № 3 начиная с 15:01:00 LT 19.03.2026

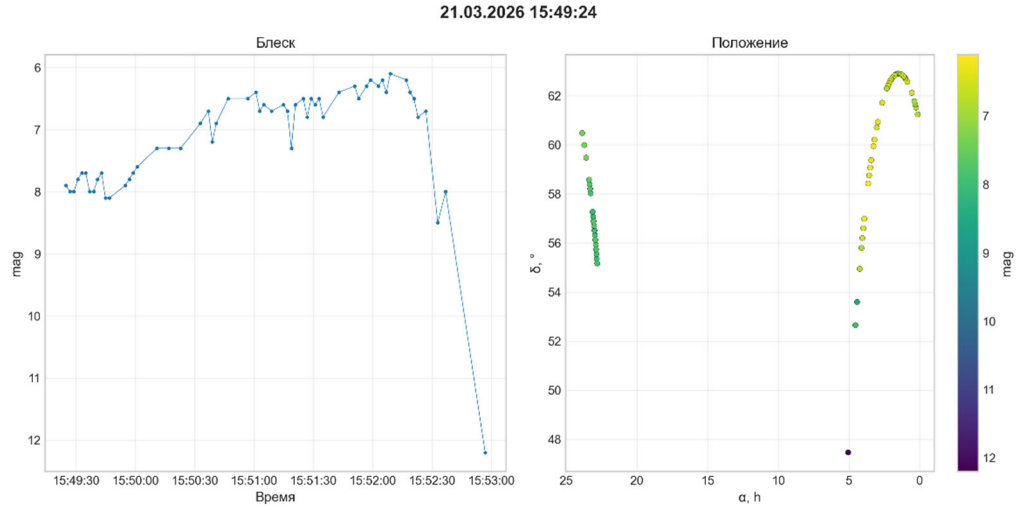

Рис. 5. Изменение блеска и положение КА «Ионосфера-М» № 3 начиная с 15:49:24 LT 21.03.2026

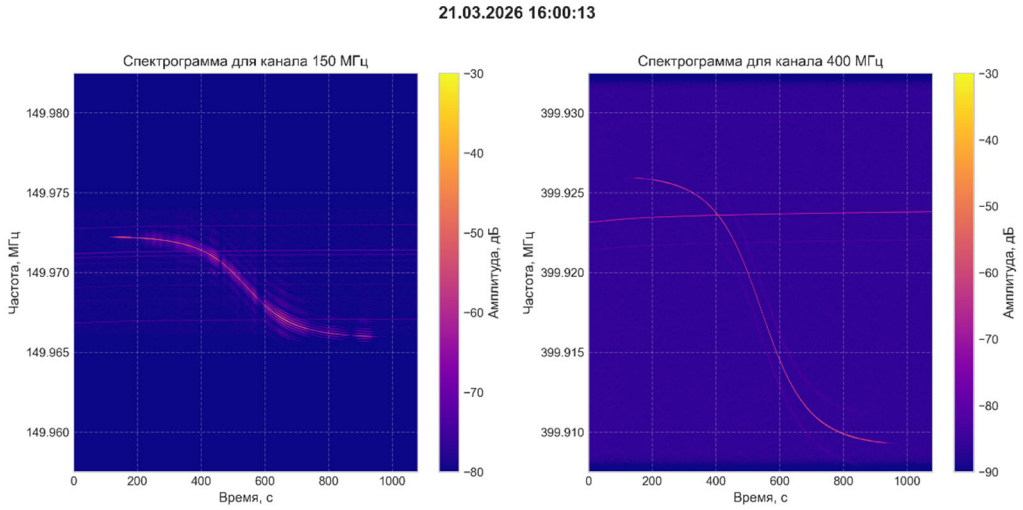

Рис. 6. Спектрограмма пролета КА «Ионосфера-М» № 3 начиная с 16:00:13 LT 21.03.2026

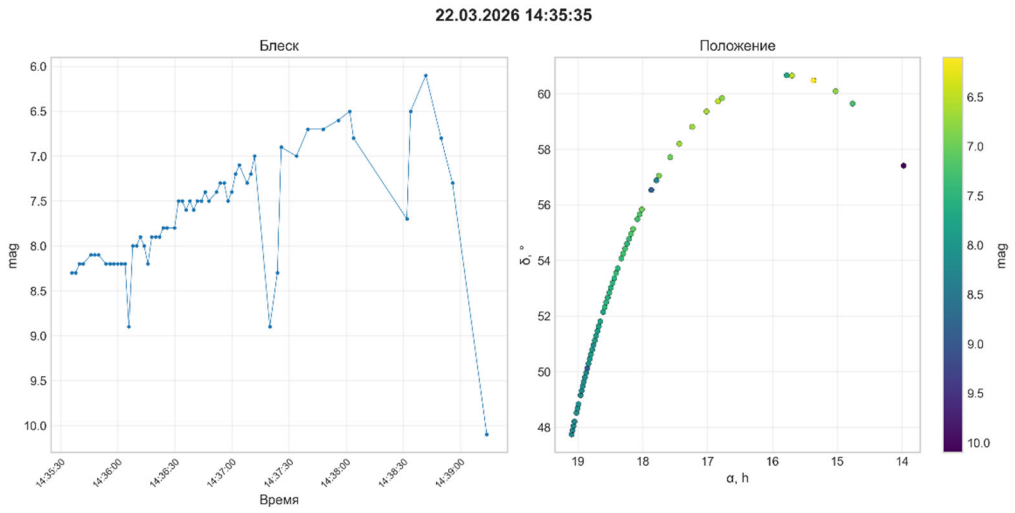

Рис. 7. Изменение блеска и положение КА «Ионосфера-М» № 4 начиная с 14:35:35 LT 22.03.2026

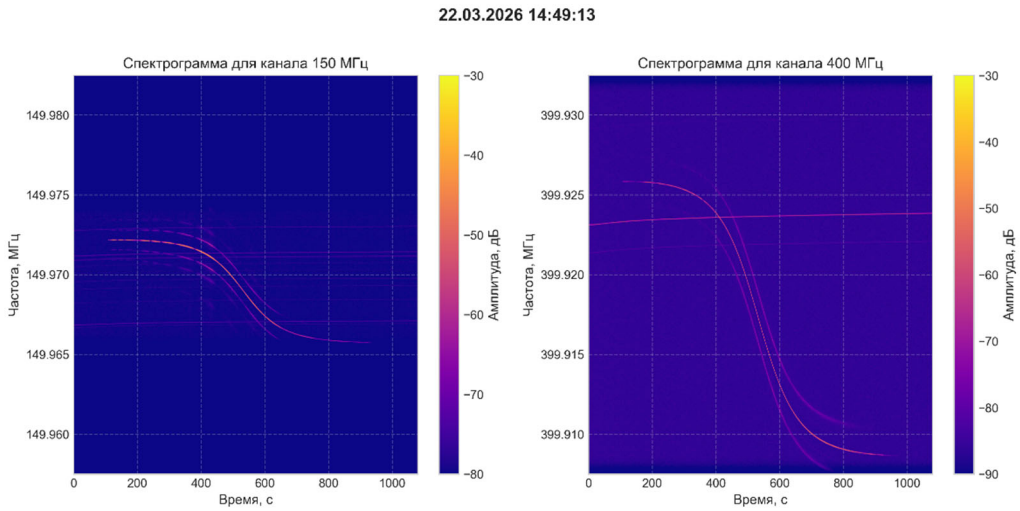

Рис. 8. Спектрограмма пролета КА «Ионосфера-М» № 4 начиная с 14:49:13 LT 22.03.2026

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом настоящей работы стали экспериментальные данные, полученные благодаря указанным инструментам. Часть этих результатов была продемонстрирована выше. На приведенных графиках четко отслеживается траектория движения КА, а на спектрограммах отчетливо виден доплеровский сдвиг. В совокупности эти измерения могут давать более точные данные о местоположении спутника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Денисенко С.А., Камус С.Ф., Пименов Ю.Д. и др. Светосильный широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ // Оптический журнал. 2009. Т. 76, № 10. С. 48–51.

Еселевич М.В., Горяшин В.Е., Коробцев И.В., Цуккер Т.Г. Наблюдения некаталогизированных объектов космического мусора на телескопе АЗТ-33ВМ // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2017. № 4. С. 52–60. DOI: 10.31429/vestnik-14-4-3-52-60.

Кушнарев Д.С., Лебедев В.П., Хахинов В.В. и др. Модернизация Иркутского радара некогерентного рассеяния // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 88–94. DOI: https://doi.org/10.12737/szf-33201708.

Zherebtsov G. A., Zavorin A.V., Nosov V.E., Potekhin A.P. Irkutsk Incoherent Scatter Radar // Proc. SPIE 3983: Sixth International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, (19 Nov 1999). 1999. DOI: https://doi.org/10.1117/12.370512.