

УДК 520.25

ПЕРВОЕ УЧАСТИЕ КРАСНОДАРСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ КУБГУ В МЕЖДУНАРОДНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ КАМПАНИИ ПРОЕКТА НСОИ АФН

Молотов И. Е., Воропаев В. А., Захваткин М. В., Степаньянц В. А.,
Иванов А. Л., Иванов В. А., Левшунов А. С., Харевич В. И., Румянцев В. В.,
Бирюков В. В., Аглетдинов В. В., Мохнаткин А. В., Выхристенко А. М.,
Кашуба С. Г., Кашуба В. И., Инасаридзе Р. Я., Айвазян В. Р., Кудак В. И.,
Периг В. М., Вольф А. В., Каплинский А. Е., Павлова Е. А.

Молотов Игорь Евгеньевич, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: im62@mail.ru.

Воропаев Виктор Анатольевич, ведущий инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: voropaev@keldysh.ru.

Захваткин Михаил Витальевич, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: zmaxus@gmail.com.

Степаньянц Виктор Аркадиевич, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: vic-stepan@rambler.ru.

Иванов Александр Леонидович, инженер кафедры оптоэлектроники физико-технического факультета (ФТФ) Кубанского государственного университета; e-mail: ial63@yandex.ru.

Иванов Виктор Александрович, инженер кафедры оптоэлектроники физико-технического факультета (ФТФ) Кубанского государственного университета; e-mail: supernova779@yandex.ru.

Левшунов Алексей Сергеевич, старший преподаватель кафедры высшей математики, информатики и естествознания ЛПИ — филиала СФУ, Лесосибирский педагогический институт — филиал Сибирского федерального университета; e-mail: a.s.levshunov@mail.ru.

Харевич Владимир Иванович, ведущий специалист лаборатории технических средств обучения и информационных ресурсов отдела информационных технологий информационно-библиотечного центра ЛПИ — филиала СФУ, Лесосибирский педагогический институт — филиал Сибирского федерального университета; e-mail: harevichvi@mail.ru.

Румянцев Василий Владимирович, старший научный сотрудник Крымской астрофизической обсерватории РАН; e-mail: rum@sgaoscimea.ru.

Бирюков Вадим Владимирович, научный сотрудник Крымской астрофизической обсерватории РАН; e-mail: va-bi@yandex.ru.

Аглетдинов Владислав Вячеславович, инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: agletdinov@inbox.ru.

Мохнаткин Артём Витальевич, инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: artspace3@mail.ru.

Выхристенко Александр Михайлович, директор Научно методического центра астрономии и астрофизики (НМЦАА) ПГУ им. Т. Г. Шевченко; e-mail: astrovam1@rambler.ru.

Кашуба Светлана Григорьевна, научный сотрудник Научно-исследовательского института «Астрономическая обсерватория» Одесского национального университета имени И. И. Мечникова; e-mail: sv-k@onu.edu.ua.

Кашуба Владимир Иванович, научный сотрудник Научно-исследовательского института «Астрономическая обсерватория» Одесского национального университета имени И. И. Мечникова; e-mail: v.kashuba@onu.edu.ua.

Инасаридзе Рагули Яковлевич, старший научный сотрудник Абастуманской астрофизической обсерватории; e-mail: innasaridze@yahoo.com.

Айвазян Вова Размикич, научный сотрудник Абастуманской астрофизической обсерватории; e-mail: vovaaiivazian10@gmail.com.

Кудак Виктор Игоревич, младший научный сотрудник лаборатории космических исследований Ужгородского национального университета; e-mail: lkd.uzhgorod@gmail.com.

Периг Василий Максимович, младший научный сотрудник Лаборатории космических исследований Ужгородского национального университета; e-mail: lkd.uzhgorod@gmail.com.

Вольф Александр Владимирович, ведущий специалист по УМР УНИЛ «Исследование космического пространства» Алтайского государственного педагогического университета; e-mail: aw@altspu.ru.

Каплинский Александр Евгеньевич, канд. физ.-мат. наук, ведущий инженер УНИЛ «Исследование космического пространства» Алтайского государственного педагогического университета; e-mail: alekap@mail.ru.

Павлова Елена Александровна, старший инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: elenae312@gmail.com.

THE FIRST PARTICIPATION OF THE KRASNODAR KUBSU OBSERVATORY
IN THE INTERNATIONAL OBSERVATORY CAMPAIGN OF THE NSOI AFN (ISON)
PROJECT

Molotov I. E.¹, Voropayev V. A.¹, Zakhvatkin M. V.¹, Stepaniants V. A.¹, Ivanov A. L.²,
Ivanov V. A.², Levshunov A. S.³, Kharevich V. I.³, Rumyantsev V. V.⁴, Biryukov V. V.⁴,
Agletdinov V. V.¹, Mokhnatkin A. V.¹, Vykhristenko A. M.⁵, Kashuba S. G.⁶, Kashuba V. I.⁶,
Inasaridze R. Ya.⁷, Ayvazyan V. R.⁷, Kudak V. I.⁸, Perig V. M.⁸, Volf A. V.⁹, Kaplinskiy A. E.⁹,
Pavlova E. A.¹

¹ Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 125047, Russia

² Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

³ Lesosibirsk Pedagogical Institute, Lesosibirsk, 662544, Russia

⁴ Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Nauchny, Crimea Republic, 298409, Russia

⁵ Taras Shevchenko Transnistria State University, Tiraspol, 3300, Transnistria

⁶ Scientific Research Institute Astronomical Observatory of Odessa I. I. Mechnikov National University, Odessa, 65000, Ukraine

⁷ Abastumani Astrophysical Observatory of Ilia State University, Tbilisi, Georgia

⁸ Uzhgorod National University, Uzhgorod, 88000, Ukraine

⁹ Altai State Pedagogical University, Barnaul, 656031, Russia
e-mail: im62@mail.ru

Abstract. The Observatory of Kuban State University cooperates with Keldysh Institute of Applied Mathematics (KIAM) of the Russian Academy of Sciences within the NSOI AFN (ISON) project since 2012. Two scientific satellites Spectr-R and Radioastron are observed at this site using a 50-cm telescope RK-504. The 25-cm telescope MAK-254 is provided for remote observations of objects in low Earth orbits, jointly modernised the 18-cm GAM-180 telescope serves for observing objects in the geosynchronous region. The observatory took part in the international observation campaign devoting to the movement of the Meteosat-7 satellite into the graveyard orbit early April 2017. The processing of measurements on a daily basis, the construction of the refined orbit from optical and telemetric measurements, and providing of target designations for the observatory was carried out by the Ballistic Center of KIAM.

In addition to the Krasnodar Observatory, 12 more observation sites participated in the campaign. In total, more than 11000 measurements were obtained for the Meteosat-7 weather satellite.

Keywords: telescope, observatory, statistics of observations, spacecraft, measurements, discrepancies, Radioastron, Meteosat-7.

Введение

Исследования объектов искусственного происхождения на околоземных орбитах проводятся в Российской академии наук с момента запуска первого ИСЗ. Они были направлены преимущественно на наблюдения крупных объектов на низких, а затем высоких орбитах с целью уточнения параметров моделей движения, изучения динамики неуправляемого движения нефункционирующих ступеней и космических аппаратов, отработки методов астрометрии и фотометрии и т.п. Слежение за первыми иностранными КО в интересах Центра контроля космического пространства осуществлялось с помощью сети оптических астрономических средств, координируемых Астросоветом (в настоящее время ИНАСАН) Академии наук СССР. Но систематических исследований по проблеме мониторинга ОКП в академии наук не проводилось, получаемые

измерения по космическим объектам не накапливались организациями академии наук и не анализировались в их совокупности.

Состояние исследований кардинально изменилось после того, как Президиум РАН поручил ИПМ им. М. В. Келдыша РАН заняться проблемой мониторинга ОКП. Был организован Центр РАН по сбору, обработке и анализу научной информации по объектам техногенного происхождения (ЦСИТО), а при нем сегмент мониторинга опасных ситуаций в области геостационарных, высокоэллиптических и средневысоких орбит системы АСПОС ОКП. Первый вопрос, который необходимо было решить — это наполнение базы данных ЦСИТО РАН регулярно обновляемой измерительной информацией о космических объектах.

Для создания новой отечественной сети мониторинга НСОИ АФН [1] было исследовано текущее состояние обсерваторий стран



Рис. 1. Телескопы обсерватории КубГУ, задействованные в сотрудничестве с проектом НСОИ АФН (слева направо: 50-см РК-510, 25-см МАК-254, 18-см ГАМ-180)

СНГ, создана кооперация наблюдателей и получены гранты на приобретение первых в стране ПЗС-камер. Был организован целый ряд новых обсерваторий, что позволило впервые в российской истории перекрыть наблюдениями всю геостационарную орбиту. В настоящее время ИПМ им. М. В. Келдыша РАН сотрудничает с 38 обсерваториями различной принадлежности с 96 телескопами в 16 странах. Дополнительно ведутся переговоры с обсерваториями еще 5 стран (в ноябре 2017 г. планируется запуск телескопа в Китае). В том числе были установлены контакты и с обсерваторией Кубанского государственного университета (КубГУ) в г. Краснодар.

1. Сотрудничество обсерватории КубГУ с ИПМ им. М. В. Келдыша РАН

Обсерватория КубГУ (СОН ИСЗ № 1027) имеет давнюю историю, но сотрудничество ИПМ им. М. В. Келдыша РАН с обсерваторией в Краснодаре началось только в феврале 2012 г. Именно тогда с помощью оптического телескопа РК-510 (Астросиб), изображенного на рис. 1, для которого проект НСОИ АФН предоставил ПЗС-камеру фирмы ФЛИ МЛ-1001Е, состоялись первые наблюдения научного космического аппарата (КА) «Радиоастрон» («Спектр-Р») [2]. За 5 лет обсерваторией КубГУ было проведено 369 наблюдательных сессий КА «Спектр-Р», в ходе которых было получено 10285 измерений углового положения КА на небесной сфере. Совокупное время наблюдений составило более 440

часов. Угловые астрометрические измерения являются важным дополнением к навигационной информации КА «Спектр-Р», позволяющим повысить точность пространственно-временной привязки данных научных экспериментов, осуществляемых этой космической обсерваторией. Измерения, полученные в обсерватории КубГУ, демонстрируют высокую точность, шумовые составляющие ошибок не превышают 0,5 угловой секунды.

На втором этапе, в 2016 г. начались наблюдения ярких низкоорбитальных космических объектов (КО) на 25-см телескопе МАК-254 (на опорно-поворотном устройстве ВС-180, переданном проектом НСОИ АФН). При этом наблюдения проводились удаленно специалистами ПАО «МАК «Вымпел»» по сети Интернет. В течение 89 наблюдательных ночей было выполнено 1826 проводок КО, во время которых удалось получить 9875 измерений углового положения.

В 2017 г. было принято решение сформировать еще один, третий комплект оборудования для наблюдений высокоорбитальных КО. Проект НСОИ АФН помог КубГУ доработать 18-см телескоп оптической схемы Гамильтона ГАМ-180, а также предоставил систему привязки точного времени измерений на основе GPS-приемника [3] и программное обеспечение АРЕХ II [4] для обработки ПЗС-кадров. Телескоп на автоматизированном опорно-поворотном устройстве ЕКУ6-Про с ПЗС-камерой ФЛИ МЛ-8300 (3,3К×2,5К, 5,4 мкм, пиковая квантовая эффективность 60%) был установлен в откры-



Рис. 2. Географическое расположение обсерваторий НСОИ АФН, участвовавших в наблюдательной кампании по КА «Метеосат-7»

вающемся куполе на крыше здания КубГУ. При этом поле зрения 18-см ГАМ-180 составило $2,1 \times 1,5$ градуса, а масштаб изображения — $2,29''/\text{пиксель}$. Проверить точностные характеристики нового инструмента КубГУ удалось во время наблюдательной кампании НСОИ АФН по отслеживанию увода КА «Метеосат-7» на орбиту захоронения.

2. Наблюдательная кампания в апреле 2017 г.

КА «Метеосат-7» был запущен на геостационарную орбиту в сентябре 1997 г. и эксплуатировался компанией EUMETSAT (Европейская компания по эксплуатации метеорологических спутников). Рабочий срок КА подошел к концу, и он должен быть уведен на орбиту выше номинальной на 250 км в период с 1 по 5 апреля 2017 г. Привлечение сети НСОИ АФН потребовалось для оперативного и точного контроля сложной многоимпульсной схемы увода вращающегося спутника, чего не удалось бы достичь исключительно радиотехническими средствами. Был выбран план увода с двумя ежедневными коррекциями (одна коррекция днем, вторая ночью). При этом перед проведением второй коррекции, требовалось понимание, как прошла первая, для чего были необходимы массовые наблюдения и оперативное построение текущей орбиты.

Наблюдательная кампания НСОИ АФН, проведенная по заявке испанской фирмы GMV Innovating Solutions, явилась самой массовой в истории ИПМ им. М.В. Келдыша РАН — в ней приняли участие 17 телескопов — 6 работали в режиме обзора и 11 —

по целеуказаниям (ЦУ). Обзорные наблюдения были необходимы, чтобы найти КА после проведенной дневной коррекции и оперативно передать информацию на телескопы, работающих по ЦУ. Ежесуточная обработка измерений, построение уточненной орбиты по данным оптических и радиотехнических измерений, и выдача ЦУ в обсерватории проводилась в Баллистическом центре ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. Помимо обсерватории КубГУ, в кампании приняли участие обсерватории в Ужгороде (пункт Дереновка Ужгородского национального университета), Тирасполе (Приднестровский государственный университет), Маяках (НИИ «Астрономическая обсерватория» Одесского национального университета), Научном (КраО РАН), Андрушевке (обсерватория «Июльское утро»), Терсколе (Терскольский филиал ИНАСАН), Абастумани (Абастуманская астрофизическая обсерватория Тбилисского государственного университета), Китабе (станция Китаб Астрономического института академии наук Узбекистана), Барнауле (Алтайский государственный педагогический университет), Мульты (пункт МИП «ИПМ Баллистика-Сервис») и Лесосибирске (Лесосибирский педагогический институт), а на заключительном этапе и в Циммервальде (Астрономический институт Бернского университета), географическое расположение которых показано на рис. 2.

3. Статистика наблюдений

Поэтапное увеличение высоты орбиты КА «Метеосат-7», выполненное при его уводе на орбиту захоронения с информационной под-



Рис. 3. Поэтапное увеличение высоты орбиты КА «Метеосат-7»

Таблица 1. Сводная статистика наблюдений КА «Метеосат-7», обсерваториями НСОИ АФН в период с 1 по 5 апреля 2017 г.

Обсерватория	Телескоп	Измер.	Кол. ночей	Длит., мин.
Научный-1	АТ-64, 64 см	1613	6	313
Научный-1	РН-2а, 18 см	238	5	186
Абастумани	ОРИ-22, 22 см	1200	5	431
Терскол	К-800, 80 см	1711	4	376
Маяки	РК-800, 80 см	1791	5	327
Краснодар	ГАМ-180, 18 см	845	3	374
Барнаул	ТАЛ-250К, 25 см	559	4	194
Ужгород	ЧВ-400, 40 см	368	3	166
Ужгород	ВРС-250, 25 см	492	3	150
Тирасполь	СРТ-220, 22 см	547	4	124
Китаб	ОРИ-40, 40 см	114	2	81
Лесосибирск	ОРИ-22, 22 см	109	2	52
Андрушевка	ОРИ-22, 22 см	27	4	36
Андрушевка	ОРИ-50, 50 см	12	1	2

держкой обсерваторий сети НСОИ АФН, показано на рис. 3. При этом было получено более 10 000 измерений углового положения КА «Метеосат-7», разбивка которых по телескопам и обсерватория представлена в табл. 1.

На рис. 4 показан график невязок измерений за всю наблюдательную кампанию, на этот же график нанесены места проведения коррекций. График наглядно демонстрирует, что наблюдательная активность была такой высокой для того, чтобы каждый пассивный участок между частыми включениями двигателей КА сопровождался измерениями.

Для оценки точностей нового телескопа КубГУ были отобраны измерения, приходящиеся на пассивную дугу с 1 по 3 апреля и

согласующиеся между собой лучшим образом. Туда вошли измерения из Маяков, Терскола, Ужгорода ЧВ-400 и Научного. Измерения ГАМ-180 из Краснодара согласовались с ними очень хорошо, средние шумовые составляющие ошибок по двум направлениям наблюдений составили 0,88 и 1,34 угл. сек.

Заключение

Обсерватория КубГУ плодотворно сотрудничает с ИПМ им. М. В. Келдыша РАН в течение уже 5 лет. При поддержке проекта НСОИ АФН в Краснодарской обсерватории были оснащены и вовлечены в наблюдения по разным задачам три телескопа — 50-см РК-510, 25-см МАК-254 и 18-см ГАМ-180. ГАМ-180

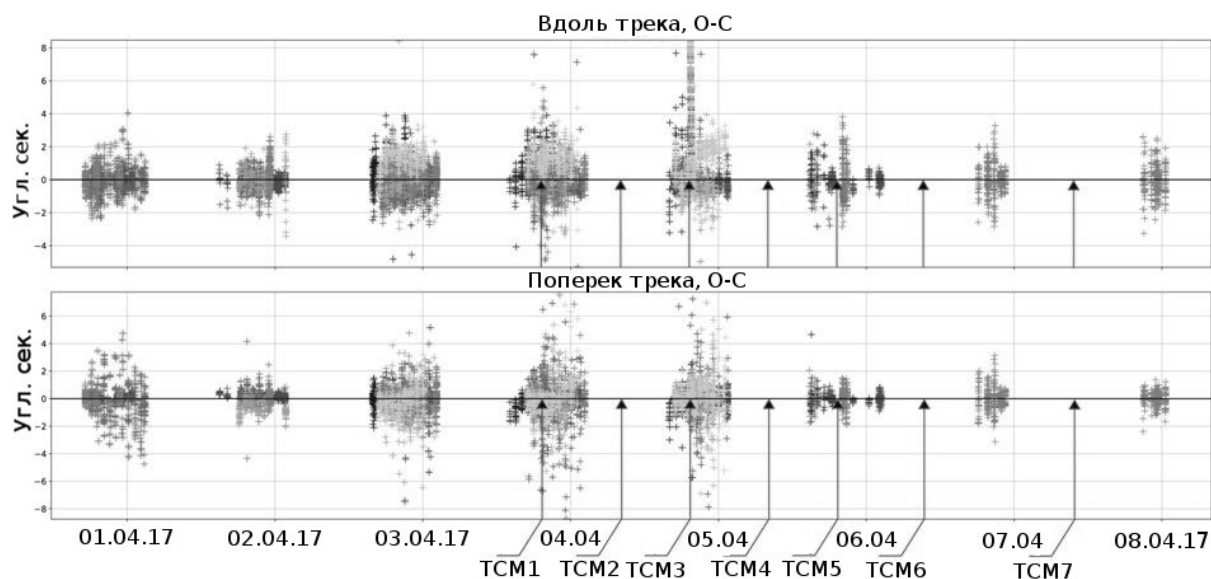


Рис. 4. График невязок измерений вдоль и поперек трека за всю кампанию с наложением времени коррекций КА «Метеосат-7»

принял участие в международной наблюдательной кампании с участием 17 телескопов 13 обсерваторий НСОИ АФН, в рамках которой проводилась информационная поддержка увода геостационарного КА «Метеосат-7» на орбиту захоронения. В период с 1 по 5 апреля 2017 г. было получено более 10 000 измерений углового положения, в том числе 845 измерений с ГАМ-180. При этом точность (невязки) измерений телескопа ГАМ-180 обсерватории КубГУ в Краснодаре вошли в число лучших в этом эксперименте. Телескоп может быть рекомендован к использованию для наблюдений по ЦУ требующих повышенной точности. Проведенная наблюдательная кампания оказалась самой массовой в истории НСОИ АФН и продемонстрировала ее высокие возможности даже для подобных сложных случаев, как увод КА «Метеосат-7» с двумя ежедневными коррекциями.

Литература

1. Молотов И. Е., Агапов В. М., Куприянов В. В. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулковке. 2009. № 219. Вып. 1. С. 233–248.
2. Иванов А. Л., Иванов В. А., Лысенко В. Е., Степаньянц В. А., Захваткин М. В. Результаты наблюдений КА «Спектр-Р» в астрофизической оптической обсерватории Кубанского государственного университета // Экологиче-

ский вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. № 4. Т. 3. С. 76–79.

3. Русаков О. П., Куприянов В. В. Устройство для синхронизации наблюдений со службой точного времени GPS на базе модуля «Trimble Resolution T» // Радиотехнические тетради. 2008. № 36. С. 25.
4. Куприянов В. В. Астрометрическая редукция ПЗС-обзоров области ГСО в системе APEX II // Радиотехнические тетради. 2008. № 36. С. 34–35.
5. Escobar D., Ayuga F., Anton A., Agueda A., Molotov I. GMV/ISON combined optical campaigns // Proceedings of the 7th European Conference on Space Debris, ESA/ESOC, Darmstadt, Germany, 18–21 April 2017. 7 p.

References

1. Molotov I.E., Agapov V.M., Kouprianov V.V. et al. Nauchnaya set' opticheskikh instrumentov dlya astrometricheskikh i fotometricheskikh nablyudeniye [Scientific network of optical instruments for astrometric and photometric observations]. *Izvestiya Glavnoy astronomicheskoy obsekvatorii v Pulkove* [Transactions of the Central Astronomical Observatory at Pulkovo], 2009, no. 219, iss. 1, pp. 233–248. (In Russian).
2. Ivanov A.L., Ivanov V.A., Lysenko V.E., Stepaniants V.A., Zakhvatkin M.V. Rezultaty nablyudeniye KA «Spektr-R» v astrofizicheskoy opticheskoy obsekvatorii Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta [The results of observations of the Spectr-R satellite at the Astrophysical Optical Observatory of the Kuban State Univer-

- sity]. *Ekologicheskiiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation], 2013, no. 4, vol. 3, pp. 76–79. (In Russian).
3. Rusakov O.P., Kouprianov V.V. Ustroystvo dlya sinkhronizatsii nablyudeniy so sluzhboy tochnogo vremeni GPS na baze modulya "Trimble Resolution T" [A device for synchronizing observations with the GPS time service based on the Trimble Resolution T Module]. *Radiotekhnicheskiye tetradi* [Radio Engineering Notebooks], 2008, no. 36, p. 25. (In Russian).
 4. Kouprianov V.V. Astrometricheskaya reduksiya PZS-obzorov oblasti GSO v sisteme APEX II [Astrometric reduction of CCD surveys of the GEO region using the APEX II software toolkit]. *Radiotekhnicheskiye tetradi* [Radio Engineering Notebooks], 2008, no. 36, pp. 34–35. (In Russian).
 5. Escobar D., Ayuga F., Anton A., Agueda A., Molotov I. GMV/ISON combined optical campaigns. *Proc. of the 7th European Conference on Space Debris*, ESA/ESOC, Darmstadt, Germany, 18–21 April 2017, 7 p.

© Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2017

© Молотов И. Е., Воропаев В. А., Захваткин М. В., Степаньянц В. А., Иванов А. Л., Иванов В. А., Левцунов А. С., Харевич В. И., Румянцев В. В., Бирюков В. В., Аглетдинов В. В., Мохнаткин А. В., Выхристенко А. М., Кашуба С. Г., Кашуба В. И., Инасаридзе Р. Я., Айвазян В. Р., Кудак В. И., Периг В. М., Вольф А. В., Каплинский А. Е., Павлова Е. А., 2017

Статья поступила 31 октября 2017 г.