

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 551.59:629.78

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА МЕЗОМАСШТАБНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ПОВЫШЕННОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ

А. В. Карелин, К. А. Молодцов, В. В. Хегай

Предложено создание на солнечно-синхронной орбите орбитальной группировки из серии малых космических аппаратов, оснащенных микроволновым зондировщиком высокого разрешения и детектором молний, которые позволят получать необходимую информацию для прогноза погоды не только в интересах Росгидромета, но и сведения о радиоактивном загрязнении местности и предвестниках землетрясений для МЧС России.

Ключевые слова: предвестник землетрясений, дистанционное зондирование, космический аппарат, микроволновый зондировщик, детектор молний, ионизация, комплексирование, мезомасштабная система.

Крупные (размером >200 км) массивы кучево-дождевой облачности с почти круговой формой как в тропиках, так и в умеренных широтах, в отечественной литературе называются «мезомасштабной конвективной системой» (МКС) (за рубежом используется термин «мезомасштабный конвективный комплекс» – МКК) [1].

На протяжении активной части своего жизненного цикла МКС генерирует много опасных явления погоды: торнадо, крупный град, интенсивные ливни и паводки, катастрофические порывы ветра и грозовую деятельность. Почти каждая пятая МКС приводит к значительным разрушениям и человеческим жертвам [1].

Грозовая активность кучево-дождевых облаков также является составной частью механизма поддержания и разгона тропических ураганов, торнадо и смерчей [2 – 7].

Образование кучево-дождевого облака сопровождается падением давления, что интенсифицирует воздухообмен почва – атмосфера и повышает выход в приповерхностную атмосферу радона, основного ионизатора приземного воздуха, что может приводить к высокой частоте поражаемости этой территории молниями [8, 9].

При решении задач прогнозирования угроз особую значимость имеет непрерывный мониторинг и комплексный анализ параметров разнообразных аномальных геофизических явлений, которые предшествуют возникновению стихийных бедствий. С целью построения полной картины необходимо использовать космические средства [10]. Кроме того, космические средства позволяют обеспечить высокую плотность наблюдений в тех районах, которые не охватываются наземными средствами, например, океаны и труднодоступные местности. Изучение пространственного распределения МКС и плотности молниевых разрядов позволяет совершенствовать существующие прогнозные климатические модели [11, 12].

Целью настоящей работы является разработка предложения по созданию комплексированной орбитальной группировки малых космических аппаратов для глобального мониторинга и анализа МСК с повышенной грозовой активностью и предвестников чрезвычайных ситуаций.

В работе [6] было установлено, что скорость ионизации не связана прямо с частотой молниевых вспышек, фиксируемых детектором молний из космоса. Однако, совместный анализ временной динамики грозовой активности и темпа нарастания скорости тропического циклона (ТЦ) за первые несколько суток позволит оценить перспективы развития ТЦ с использованием фундаментального уравнения для тангенциальной составляющей скорости тропических ураганов [3] и временной развертки скорости ионизации атмосферы. Состояние океана и атмосферы (температура, влажность, насыщенность центрами конденсации) в областях возникновения и распространения МКС с высокой грозовой активностью можно установить с помощью космического мониторинга микроволновыми зондировщиками и детекторами молний, расположенными на спутниках «Метеор-МП» и «Электро-М». Однако, количество этих спутников будет не велико, а насыщенность их различной целевой аппаратурой весьма значительна. Опыт использования космических аппаратов (КА) гидрометеорологического назначения, насыщенных различной целевой аппаратурой, показывает целесообразность дублирования их по некоторым задачам, которые не являются основными для этих спутников, но чрезвычайно важны в части решения ряда социально-экономических задач. Особенно, для мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС). К числу этих задач относятся температура, влажность и грозовая активность атмосферы.

В современной аэрокосмической промышленности комплексирование используется для обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации космических аппаратов. Бортовая служебная и це-

левая электронная аппаратура включает различные системы: навигационного, гидрометеорологического, оптико-электронного и радиолокационного назначения, системы автоматического управления [13, 14].

Все эти системы комплексно взаимодействуют для обеспечения требуемого качества обеспечения полетов и наилучшим образом выполнения целевых задач. В основе одного из направлений развития технологий проектирования космических аппаратов лежит принцип комплексирования, который заключается в объединении элементов (конструктивных, электротехнических) в систему и создания управляющих интеллектуальных алгоритмов управления для получения более высоких, чем у отдельных элементов показателей производительности и надёжности. В рамках данного направления разрабатываются модели разных технических аспектов, каждая из которых содержит параметры всех составных частей спутника: модель силового нагружения, теплового баланса, технологической схемы, монтажа и целевого функционала. Данные модели имеют тесную взаимосвязь. Комплексирование выражается в интеграции (объединении) бортовой аппаратуры (БА). Может выражаться в структурном объединении и взаимном слиянии электронных модулей бортовой аппаратуры без потери функций каждого из элементов унификации блоков и электронных модулей бортовой аппаратуры в соответствии с принятыми стандартами и их включении в монтажную схему КА. При этом может достигаться большее удобство компоновки при одновременном снижении массы КА, значительно упрощается сборка и разборка КА, облегчается замена отказавшей бортовой аппаратуры [15].

Комплексирование достигается также унификацией интерфейсов связи и протоколов информационного обмена БА между собой. При комплексировании конструкция отдельной бортовой аппаратуры может включаться в конструкцию другой бортовой аппаратуры или в несущую конструкцию КА. При этом нагрузка, прикладываемая к конструкции КА, распределяется и на конструкцию подсоединенной бортовой аппаратуры к несущей конструкции. В условиях, когда при комплексировании имеет место взаимозаменяемость отдельных функций приборов и модулей бортовой аппаратуры под руководством управляющих интеллектуальных алгоритмов управления бортового программного обеспечения может происходить перераспределение функций между приборами и электронными модулями бортовой аппаратуры в случае отказа одного. При этом обеспечивается дальнейшее выполнение целевой задачи КА, повышается надёжность и живучесть КА в целом.

Оптимальное комплексирование КА позволяет повысить надёжность ее функционирования. Интеграция конструкции модулей в силовую схему, жесткость и прочность конструкции КА зависит от выбранной формы конструкции, характеристик используемых материалов и формы составных элементов.

При комплексировании бортовой служебной и целевой аппаратуры, функций приборов и электронных модулей, совместное воздействие на КА внутренних и внешних факторов, не рассмотренных при проектировании, часто приводят к серьезным отказам, вплоть до прекращения функционирования. Это, как правило, происходит с бортовой аппаратурой, созданной с использованием интегральных микросхем (ИМС). ИМС являются «узким местом» в обеспечении надежности и живучести МКА, так как они наиболее чувствительны к перепадам температур и воздействию локальных радиационных эффектов.

Создание бортового программного обеспечения по комплексированию функций приборов и систем позволяет повысить живучесть и продлить срок активного существования КА путем перераспределения функций между исправными приборами и реализации новой логики работы.

Один из возможных вариантов комплексирования служебной и целевой аппаратуры КА заключается в выполнении следующих операций. При отказе системы управления: передача функций управления из бортового процессора устройствам управления служебными системами. При отказе системы телеметрической информации: передача служебной информации путем использования канала целевой информации для передачи в наземный измерительный комплекс управления служебной информацией. При отказе датчика ориентации на Солнце ориентация КА производится на основе использования значений токов с панелей солнечных батарей. При отказе маршевой двигательной установки: осуществляется использование энергетических возможностей двигательной установки малой тяги для перевода КА на рабочую орбиту. При любом из возможных случаев перераспределения функций, эффективность работы прибора, получившего дополнительную функцию, либо электронного модуля, находящегося в одном информационном контуре с данным прибором, падает, однако выполнение задачи обеспечения работоспособности целевой аппаратуры или функционирования служебной выполняется [13 – 15].

Для успешного и оперативного решения задачи мониторинга температуры, влажности и грозовой

активности атмосферы предлагается создать на солнечно-синхронной орбите орбитальную группировку из серии малых КА на платформе «Аист-2Т» или «Канопус-В»-О, оснащенных микроволновым температурно-влажностным зондировщиком атмосферы высокого разрешения (МТВЗА-ВР), который ещё в 2018 году начинали разрабатывать в ФИРЭ РАН [16, 17], и детектором молний ОЭБ-ДМ (НПП «ОПТЭКС») [18, 19].

Зондировщик МТВЗА-ВР позволит получать необходимую информацию для прогноза погоды не только для Росгидромета, но и сведения о радиоактивном загрязнении местности и предвестниках землетрясений для МЧС России.

На выходе СВЧ-радиометра формируются выходные сигналы, пропорциональные измеряемым радиоярким температурам Земли, которые регистрируются в приборе. Кроме того, собирается дополнительная информация о температурных характеристиках антенно-фидерного тракта и самого приемника. Целевая обработка информации производится на Земле.

Космическая система в перспективе имеет высокую технико-экономическую эффективность, поскольку ориентирована на использование уникального СВЧ радиометрического комплекса [17], востребованного в рамках прикладных и научно-исследовательских работ дистанционного зондирования Земли из космоса.

Данный СВЧ-комплекс обеспечит проведение спутникового всепогодного круглосуточного глобального мониторинга Земли с высоким пространственным разрешением 1 – 3 км. Информация, получаемая с перспективных СВЧ-комплексов, устанавливаемых на КА ДЗЗ может быть использована для решения задач мониторинга и предсказания чрезвычайных ситуаций, в частности предсказания землетрясений. Однако, в настоящее время, при контроле и прогнозе чрезвычайных ситуаций данные наблюдений в СВЧ-диапазоне применяются не в полном объеме, вследствие низкого пространственного разрешения (16 – 150 км) существующей СВЧ-аппаратуры. Таким образом, развитие космических систем мониторинга чрезвычайных ситуаций связано с созданием нового поколения целевой аппаратуры ДЗЗ в СВЧ-диапазоне спектра.

Детектор молний ОЭБ-ДМ [18, 19] обеспечит обнаружение вспышки молнии с яркостью $5 \text{ мкДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ср})$ с вероятностью не менее 0,99 при наилучшей временной фазе сигнала. Создание этого комплекса научной аппаратуры и его работа на МКС позволит накопить новые данные о временном, яркостном и географическом распределении вспышек молний.

Проведение съёмки в круглосуточном режиме позволит добиться высокого временного разрешения полученных данных и охвата значительной части поверхности Земли.

В любом случае для оперативного получения космической информации (с периодичностью около 2 часов) таких КА на солнечно-синхронной орбите высотой порядка 500 км должно быть не менее 24 [16].

Таким образом, предлагается создать на солнечно-синхронной орбите орбитальную группировку из серии малых КА на платформе «Аист-2Т» или «Канопус-В»-О, оснащенных только двумя приборами – микроволновым зондировщиком и детектором молний, которые позволят получать необходимую информацию для прогноза погоды не только в интересах Росгидромета, но и сведения о радиоактивном загрязнении местности и предвестниках землетрясений для МЧС России.

Литература

1. Вельтищев, Н. Ф. Мезометеорологические процессы: учебное пособие / Н. Ф. Вельтищев, В. М. Степаненко. – Москва : Изд-во МГУ, 2006. – 101 с.
2. Боярчук, К. А. Базовая модель кинетики ионизированной атмосферы / К. А. Боярчук, А. В. Карелин, Р. В. Широков. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2006. – 204 с.
3. Karelin, A. V. Dynamics of tropical hurricanes and cyclones / A. V. Karelin // *Physics of wave phenomena*. – 2006. – Vol. 14. – № 4. – P. 44–51.
4. Карелин, А. В. Механизм генерации электричества в грозовых облаках и тропических ураганах / А. В. Карелин // *Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ*. – Москва : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2010. – Т. 118. – № 5. – С. 45–49.
5. Relationship between lightning activity and tropical cyclone intensity over the northwest Pacific / W. Zhang, Y. Zhang, D. Zheng [et al.]. – DOI : 10.1002/2014JD022334 // *J. Geophys. Res. Atmos.* – 2015. – Vol. 120. – Iss. 9. – P. 4072–4089.
6. Карелин, А. В. О связи интенсивности тропических ураганов с грозовой активностью. Взгляд из космоса / А. В. Карелин, В. В. Хегай // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2021. – Т. 180. – № 1. – С. 26–32.
7. The Evolution of Lightning Flash Density, Flash Size, and Flash Energy During Hurricane Dorian's (2019) Intensification and Weakening / P. Duran, C. J. Schultz, E. C. Bruning [et al.]. – DOI : 10.1029/2020GL092067 // *Geophysical Research Letters*. – 2021. – Vol. 48. – Iss. 8. – P. 1–11.
8. Шулейкин, В. Н. Водород, метан, радон и молниевые разряды облако-земля / В. Н. Шулейкин. – DOI : 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art14 // *Актуальные проблемы нефти и газа*. – 2018. – Вып. 3 (22). – С. 1–15.
9. Earthquake Precursors in the Atmosphere and Ionosphere: New Concepts / S. Pulnits, D. Ouzounov, A. Karelin

- [et al.]. – Dordrecht, The Netherlands : Springer, 2022. – DOI : 10.1007/978-94-024-2172-9.
10. Шарков, Е. А. Космический эксперимент «Конвергенция»: научные задачи, бортовая аппаратура, методики решения обратных задач / Е. А. Шарков, А. В. Кузьмин, S. Jeong. – DOI : 10.31857/S020596140002356-2 // Исследование Земли из космоса. – 2018. – № 4. – С. 71–96.
11. Finke, U. Detect and Locate Lightning Events from Geostationary Satellite Observations / U. Finke, O. Kreyer // Report Part II: Feasibility of lightning location from a geostationary orbit, № EUM/CO/02/1016/SAT; Institute für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover. – 2002. – URL : <https://studylib.net/doc/18778992/detect-and-locate-lightning-events-from-geostationary>.
12. Christian, H. J. Lightning Imaging Sensor (LIS) for the Earth Observing System / H. J. Christian, R. J. Blakeslee, S. J. Goodman // NASA Technical Memorandum 4350. – 1992. – URL : http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19920010794_1992010794.pdf.
13. Сафронов, С. Л. Комплексование при создании малых космических аппаратов / С. Л. Сафронов. – Управление движением и навигация летательных аппаратов: сборник трудов XIX Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева. – 2017. – С. 143–146.
14. Сафронов, С. Л. Решение задачи комплексования бортовой аппаратуры малого космического аппарата дистанционного зондирования Земли на основе математического и имитационного моделирования его функционирования / С. Л. Сафронов, И. С. Ткаченко, С. С. Волгин // Информационные технологии и нанотехнологии: сборник трудов ИТНТ-2018; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева. – 2018. – С. 2829–2834.
15. Туманов, А. В. Основы компоновки оборудования космических аппаратов / А. В. Туманов, В. В. Зеленцов, Г. А. Щеглов. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 572 с.
16. Карелин, А. В. Актуализация создания орбитальной группировки мониторинга радиоактивного загрязнения местности на платформе малых космических аппаратов / А. В. Карелин, К. А. Молодцов, В. В. Хегай // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2023. – Т. 194. – № 3. – С. 24–31.
17. Карелин, А. В. Модифицированный метод дистанционного зондирования предвестников землетрясений из космоса / А. В. Карелин, К. А. Молодцов, В. В. Хегай // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2024. – Т. 198. – № 1. – С. 26–31.
18. Квитка, В. Е. Создание детектора молний для Международной космической станции / В. Е. Квитка, А. В. Корх // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – Т. 66. – № 1. – С. 42–49.
19. Карелин, А. В. Требования к детектору молний, размещаемому на малых космических аппаратах / А. В. Карелин, К. А. Молодцов, В. В. Хегай // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Москва : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2024. – Т. 198. – № 1. – С. 21–27.

Поступила в редакцию 22.07.2024

Александр Витальевич Карелин, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник, т. 8 (495) 513-54-01, e-mail: avkarelin@tsniimash.ru.
Кирилл Алексеевич Молодцов, инженер, т. 8 (495) 513-40-88, e-mail: MolodtsovKA@tsniimash.ru. (АО «ЦНИИМаши»).
Валерий Варламович Хегай, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, т. 8 (495) 851-97-80, e-mail: hegai@izmiran.ru. (ИЗМИРАН).

INTEGRATED SATELLITE MONITORING TOOLS FOR A MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEM WITH INCREASED THUNDERSTORM ACTIVITY

A. V. Karelin, K. A. Molodtsov, V. V. Hegai

It is proposed to create an orbital constellation on a sun-synchronous orbit from a series of small spacecrafts equipped with a high-resolution microwave sounder and a lightning detector, which will allow obtaining the necessary information for weather forecasting not only in the interests of Roshydromet, but also information on radioactive contamination of the area and earthquake precursors for the EMERCOM of Russia.

Keywords: earthquake precursor, remote sensing, spacecraft, microwave sounder, lightning detector, ionization, integration, mesoscale system.

References

- Veltishev, N. F. Mesometeorological processes: study book / N. F. Veltishev, V. M. Stepanenko. – Moscow : MSU Publishing House, 2006. – 101 p.
- Boyarchuk, K. A. Basic model of ionized atmosphere kinetics / K. A. Boyarchuk, A. V. Karelin, R. V. Shirokov. – FGUE «NPP VNIIEМ», 2006. – 204 p.

3. Karelin, A. V. Dynamics of tropical hurricanes and cyclones / A. V. Karelin // Physics of wave phenomena. – 2006. – Vol. 14. – № 4. – P. 44–51.
4. Karelin, A. V. Mechanism of electricity generation in thunderstorm clouds and tropical hurricanes / A. V. Karelin // Matters of Electromechanics. NPP VNIIEEM Proceedings. – 2010. – Vol. 118. – No. 5. – P. 45–49.
5. Relationship between lightning activity and tropical cyclone intensity over the northwest Pacific / W. Zhang, Y. Zhang, D. Zheng [et al.]. – DOI : 10.1002/2014JD022334 // J. Geophys. Res. Atmos. – 2015. – Vol. 120. – Iss. 9. – P. 4072–4089.
6. Karelin, A. V. Connection between the intensity of tropical hurricanes and thunderstorm activity. View from Space / A. V. Karelin, V. V. Khegay // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – 2021. – Vol. 180. – No. 1. – P. 26–32.
7. The Evolution of Lightning Flash Density, Flash Size, and Flash Energy During Hurricane Dorian's (2019) Intensification and Weakening / P. Duran, C. J. Schultz, E. C. Bruning [et al.]. – DOI : 10.1029/2020GL092067 // Geophysical Research Letters. – 2021. – Vol. 48. – Iss. 8. – P. 1–11.
8. Shuleykin, V. N. Hydrogen, methane, radon and lightning discharges cloud-earth / V. N. Shuleykin. – DOI : 10.29222/ipng.2078-5712.2018-22.art14 // Actual Problems of Oil and Gas. – 2018. – Issue 3 (22). – P. 1–15.
9. Earthquake Precursors in the Atmosphere and Ionosphere: New Concepts / S. Pulnits, D. Ouzounov, A. Karelin [et al.]. – Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2022. – DOI : 10.1007/978-94-024-2172-9.
10. Sharkov, E. A. Space experiment «Convergence»: scientific problems, on-board equipment, methods for solving inverse problems / E. A. Sharkov, A. V. Kuzmin, S. Jeong. – DOI : 10.31857/S020596140002356-2 // Exploring the Earth from space, 2018. – No. 4. – P. 71–96.
11. Finke, U. Detect and Locate Lightning Events from Geostationary Satellite Observations / U. Finke, O. Kreyer // Report Part II: Feasibility of lightning location from a geostationary orbit, № EUM/CO/02/1016/SAT; Institute für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover. – 2002. – URL : <https://studylib.net/doc/18778992/detect-andlocate-lightning-events-from-geostationary>.
12. Christian, H. J. Lightning Imaging Sensor (LIS) for the Earth Observing System / H. J. Christian, R. J. Blakeslee, S. J. Goodman // NASA Technical Memorandum 4350. – 1992. – URL: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19920010794_1992010794.pdf.
13. Safronov, S. L. Complexation during creation of small spacecrafts / S. L. Safronov // Motion control and navigation of spacecrafts: Collected proceedings of XIX All-Russian Seminar on motion control and navigation of spacecrafts. Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev. – 2017. – P. 143–146.
14. Safronov, S. L. Solving the problem of complexation of on-board hardware of Earth remote sensing small spacecraft on the basis of mathematical and simulation modelling of it's operation / S. L. Safronov, I. S. Tkachenko, S. S. Volgin // Information technology and nanotechnology: collection of proceedings (INTN-2108) : Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev. – 2018. – P. 2829–2834.
15. Tumanov, A. V. Foundations of spacecraft equipment layout / A. V. Tumanov, V. V. Zelentsov, G. A. Shcheglov. – Moscow : Bauman Moscow State University Publishing House, 2018. – 572 p.
16. Karelin, A. V. Actualization of creation of orbital constellation for monitoring radioactive contamination of an area based on the small spacecraft platform / A. V. Karelin, K. A. Molodtsov, V. V. Khegai // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – Moscow : VNIIEEM Corporation JSC, 2023. – Vol. 194. – No. 3. – P. 24–31.
17. Karelin, A. V. Modified method of earth remote sensing of earthquake precursors from Space / A. V. Karelin, K. A. Molodtsov, V. V. Khegai // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – Moscow : VNIIEEM Corporation JSC, 2024. – Vol. 198. – No. 1. – P. 26–31.
18. Kvitka, V. E. Creation of lighting detector for International Space Station / V. E. Kvitka, A. V. Korh // Vestnik of Ryzan state radioengineering university. – 2018. – Vol. 66. – No. 4. – P. 42–49.
19. Karelin, A. V. Requirements to the lighting detector located on small spacecrafts / A. V. Karelin, K. A. Molodtsov, V. V. Khegai // Matters of Electromechanics. VNIIEEM Proceedings. – Moscow : VNIIEEM Corporation JSC, 2024. – V. 198. – No. 1. – P. 21–27.

Aleksandr Vitalyevich Karelin, Doctor of Physics and Mathematics (D. Sc.), Associate Professor, Chief Researcher,
t. 8 (495) 513-54-01, e-mail: avkarelin@tsniimash.ru.

Kirill Alekseyevich Molodtsov, Engineer, t. 8 (495) 513-40-88, e-mail: MolodtsovKA@tsniimash.ru.
(JSC «TSNIIMASH»).

Valery Varlamovich Khagai, Candidate of Physics and Mathematics (Ph. D.), Leading Researcher,
t. 8 (495) 851-97-80, e-mail: hegai@izmiran.ru.
(Institute of Terrestrial Magnetism of RAS).