

Отзыв официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук Барбашиной Натальи Сергеевны
на тему: «Метод мюнографии и его применение для исследования
гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли»
по специальности 01.04.01 – «приборы и методы экспериментальной
физики»

Работа Барбашиной Н.С. посвящена развитию нового метода изучения вариаций космических лучей, а также физических процессов в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере на основе регистрации мюонов, образующихся в атмосфере Земли в результате взаимодействий космических лучей, – так называемой мюнографии. Исследования проводились на основе анализа данных, полученных с помощью уникальной установки УРАГАН – первого в мире мюонного годоскопа. Автором были разработаны специальные методы, позволяющие выявлять закономерности в изменениях потока мюонов космических лучей, в частности показано, что изменение горизонтальной проекции вектора относительной анизотропии потока мюонов может служить предвестником различных возмущений в околоземном и межпланетном пространстве. Впервые на основе единого метода обработки и анализа данных одной установки были получены пространственно-угловые, энергетические и временные характеристики вариаций потока мюонов, связанных с такими явлениями, как эффект Форбуша и возрастание интенсивности протонов космических лучей, фиксируемые наземными установками (т.н. Ground Level Enhancement, GLE). Также впервые были изучены долговременные вариации проекций вектора относительной анизотропии потока мюонов. Наиболее важные результаты, такие, как обнаружение по данным мюонного годоскопа, событий, подобных GLE, эффекту Форбуша, грозовым явлениям, были получены на трех независимо работающих супермодулях мюонного годоскопа УРАГАН. Также впервые на основе мюнографий и карт метеорологических доплеровских радаров показано, что параметры анизотропии потока мюонов позволяют идентифицировать грозовые явления с вероятностью ~70%, а при прохождении атмосферных фронтов – более 80%.

Актуальность работы. Несмотря на то, что изучение вариаций космических лучей ведется на протяжении многих десятилетий, это направление современной физики остается актуальным. Как известно, вариации космических лучей могут иметь различную природу и быть обусловленными различными процессами в атмосфере, магнитосфере и гелиосфере. Соответственно исследование вариаций космических лучей дает важную информацию о динамических процессах в указанных средах, механизмы которых до конца не изучены. С другой стороны изучение вариаций космических лучей актуально и с практической точки зрения, поскольку может использоваться для прогноза радиационных условий в околоземном и межпланетном пространстве. Одним из эффективных способов изучения вариаций космических лучей представляется исследование временных рядов интенсивности мюонов, образующихся в атмосфере Земли в результате ядерно-каскадного процесса, инициированного первичными космическими частицами. Традиционно для регистрации мюонов используют мюонные телескопы, но работа Н.С. Барбашиной связана с развитием совершенного нового метода – так называемой, мюонографии, основанной на анализе двумерных матриц угловых распределений интенсивности мюонов по данным уникальной установки – мюонного годоскопа УРАГАН, которая была первым в мире прибором такого класса. В результате удалось разработать методику, позволяющую заранее обнаруживать явления, связанные с различными проявлениями солнечной активности, такими, как Форбуш-эффект, GLE по вариациям потока мюонов и характеристикам их пространственно-угловых распределений. Кроме того, данные исследования являются актуальными и в связи с активным изучением в последнее время комплекса явлений, относящихся к, так называемой, космической погоде, в частности, многолетние данные установки УРАГАН могут быть использованы для дистанционного мониторинга гелиосферных возмущений, а разработанный в диссертационной работе метод анализа изменений параметров локальной анизотропии потока мюонов позволяет определять предвестники потенциально опасных процессов в магнитосфере и атмосфере Земли. Это подчеркивает актуальность диссертации Н.С. Барбашиной, как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Содержание и завершенность диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Во введении объясняется актуальность выбранной темы, представлен обзор литературы по теме диссертации, формулируются цели и задачи исследования, обосновывается научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Также во введении рассмотрены методология и методы исследования, приведен объем и структура работы, указаны защищаемые положения, обосновывается степень достоверности результатов работы и личный вклад автора, а также приведен список конференций, на

которых были доложены результаты диссертации в качестве апробации результатов работы, а также кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе дано описание мюонного годоскопа УРАГАН, рассмотрены его отличия и преимущества по сравнению многонаправленными мюонными телескопами (ММТ). Показано, что в отличие от ММТ годоскоп позволяет регистрировать отдельные треки мюонов в пределах апертуры установки, и тем самым определять направление их прихода. В результате обеспечивается возможность определять угловую анизотропию регистрируемых потоков и тем самым оценивать анизотропию потока первичного космического излучения. В этой главе также рассмотрен метод построения угловых распределений потоков мюонов, основанный на восстановлении направления прихода каждого мюона с помощью двумерных угловых матриц, в которые записываются события, связанные с регистрацией мюона, приходящего под определенными зенитным и азимутальным углами. Дается описание метода построения, так называемых мюонограмм (мюонограмм), представляющих собой отношение матрицы углового распределения мюонов за выбранный интервал времени к матрице углового распределения, усредненной за предыдущий более длительный период. Для количественного описания мюонограмм вводится вектор относительной анизотропии, характеризующий отклонение от среднего направления вектора локальной анизотропии. Показывается, что мюонограммы, полученные в лабораторной системе координат, имеет смысл переводить в геоцентрическую солнечно-эклиптическую систему (GSE), что позволяют визуализировать изменения потока космических лучей и их угловое распределение во время различных активных процессов в гелиосфере, и наблюдать анизотропию потока, вызванную этими процессами.

Во второй главе диссертации представлены результаты анализа долговременных вариаций космических лучей по данным мюонного годоскопа УРАГАН. Отмечается, что в течение всего интервала наблюдений имеет место сильная суточная вариация вектора локальной анизотропии, при этом в 2018 – 2020 гг. по сравнению с другими годами имеет место аномальное поведение среднегодовых суточных вариаций, что может быть вызвано переполусовкой Солнца в период максимума активности. Результаты изучения долговременных вариаций характеристик потоков мюонов сопоставлялись с данными других экспериментов, в частности, нейтронных мониторов, расположенных в Москве и Апатитах. Было показано, что по данным мюонного годоскопа и нейтронных мониторов в целом наблюдается определенная корреляция среднемесячных значений скорости счета и суточных вариаций, однако, начиная с 2016 г. в среднемесячных значениях скорости появляются существенные различия между данными годоскопа и нейтронных мониторов. В данной главе также приводятся результаты исследования влияния процессов в межпланетной среде на анизотропию потока космических лучей, отмечается неплохая корреляция величины горизонтальной проекции вектора относительной

анизотропии с величиной межпланетного магнитного поля и индексами геомагнитной активности. При этом обращается внимание на то, что указанная корреляция становится существенно менее выраженной в период окончания 24 цикла солнечной активности (2018 – 2020 гг.).

В третьей главе проведен анализ результатов применения мюнографии для исследования событий типа GLE, связанных с интенсивными солнечными вспышками. Показано, что события типа GLE могут исследоваться методом мюнографии, однако необходимым условием их регистрации является совпадение направления конуса приема мюонного годоскопа с направлением магнитной силовой линии или их близость. Для одного из событий был зарегистрирован высококоллимированный короткоживущий сгусток релятивистских солнечных протонов. Отмечается, что с помощью метода мюнографии впервые удалось непосредственно наблюдать угловую динамику этого сгустка.

В четвертой главе представлены результаты исследования с помощью метода мюнографии эффекта Форбуша – так называемых «Форбуш-понижений», то есть резких уменьшений интенсивности космических лучей вследствие их взаимодействия с крупномасштабными возмущениями различной природы в солнечном ветре. Показано, что во время разных фаз развития Форбуш-понижений имеет место изменение анизотропии потока мюонов. При этом изменения относительной анизотропии вариаций потока мюонов наблюдаются в основном на фазах падения и минимума и в среднем соответствуют восточно-западной анизотропии первичных космических лучей.

В пятой главе представлены результаты применения метода мюнографии для исследования корональных выбросов масс (КВМ) и возмущений в высокоскоростном солнечном ветре. Приводятся результаты использования этого метода для исследования геоэффективных и негеоэффективных КВМ, рассматривается возможность заблаговременного обнаружения потенциально опасных событий, которые могут радикально изменить радиационную обстановку в околоземном пространстве. Метод исследования КВМ основан на анализе последовательности событий в GSE. В результате было получено, что в периоды низкой солнечной активности отклик мюонного годоскопа на геоэффективные события оказался наиболее выражен, в коротком интервале (2 суток) наблюдается повышенное количество отклонений, при этом повышения и понижения разделены по долготам. В периоды высокой солнечной активности для геоэффективных событий отклонения потока от среднего не имеют четко выраженного распределения по долготам, количество отклонений повышено в широком временном интервале (4 – 6 суток). Отклик на негеоэффективные КВМ как в периоды низкой, так и в периоды высокой солнечной активности характеризуется широким распределением по времени (4 – 6 суток). В результате сопоставления крупных областей изменений потока космических лучей по данным мюонного годоскопа УРАГАН с параметрами

межпланетной среды, индексами геомагнитной активности показано, что первая область деформации потока космических лучей регистрируется в среднем на (18 ± 4) часа раньше, чем начинается магнитная буря.

В шестой главе рассматривается применение метода мюонографии для исследования атмосферных явлений в Московском регионе. Показано, что имеет место уменьшение потока мюонов со стороны приближения антициклона, и наоборот увеличение потока мюонов со стороны приближения циклона. При этом в южном направлении (в среднем перпендикулярном направлению движения циклонов и антициклонов) поток мюонов практически не меняется. В данной главе также обсуждается возможность использования изменения параметров потока мюонов для обнаружения их связи с грозowymi явлениями. Отмечается, что более чувствительными к атмосферным возмущениям являются параметры анизотропии потока мюонов, которые в целом позволяют идентифицировать грозвые ячейки с эффективностью около 70%.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

В Приложении приводится описание перспектив дальнейшего развития метода мюонографии. Отмечается, что для надежной идентификации атмосферных, магнитосферных и гелиосферных возмущений необходимо наличие нескольких мюонных годоскопов в различных географических точках, расстояния между которыми определяются характером решаемых задач.

Диссертация Н.С. Барбашиной написана грамотно и с соблюдением научного стиля изложения. Все материалы в тексте представлены подробно и понятно. Данная диссертация является серьёзным и завершённым научным исследованием в области физики космических лучей, методики анализа данных ядерно-физического эксперимента. Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Значимость полученных автором диссертации результатов определяется их важностью не только для физики космических лучей, но и для солнечно-земной физики, геофизики, а также развития методов экспериментальной физики. Ключевым результатом работы является разработка уникального метода мюонографии применительно к исследованию различных динамических процессов в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли. Важным результатом данной работы является подтверждение возможности использования данных мюонного годоскопа для прогноза прихода к Земле потенциально опасных гелиосферных возмущений. Другой важный результат относится к мюонографии грозвых явлений в атмосфере и их сопоставлению с данными радарных наблюдений, которое продемонстрировало их хорошее согласие.

Научная новизна и практическая ценность. Впервые разработан метод мюонографии применительно к изучению новых закономерностей в вариациях потока мюонов космических лучей. Также впервые этот метод был применен для раннего обнаружения, мониторинга и предсказания дальнейшего развития потенциально опасных возмущений в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли. При этом впервые в методике анализа динамических явлений в околоземном и межпланетном пространстве была использована горизонтальная проекция вектора относительной анизотропии потока мюонов, было показано, что ее изменения могут служить предвестником геоэффективных событий. Также в данной работе впервые получен еще ряд важных научных результатов, в том числе: с помощью одной установки и в рамках единого подхода определены интегральные, энергетические, пространственно-угловые и временные характеристики вариаций потока мюонов во время событий GLE и форбуш-понижений; определены параметры долговременных вариаций вектора локальной анизотропии потока мюонов космических лучей; показано, что совместное использование метода мюонографии и анализа карт метеорологических доплеровских радаров с большой вероятностью позволяет идентифицировать грозные явления.

Разработанный в данной работе метод мюонографии и его применение для анализа данных мюонного годоскопа, полученных в ходе многолетних наблюдений, позволит оптимизировать дистанционный мониторинг потенциально опасных гелиосферных возмущений. Методика, основанная на анализе изменений параметров локальной анизотропии потока мюонов, может быть использована для прогноза потенциально опасных процессов в магнитосфере и атмосфере Земли. Также полученные в диссертации результаты можно в дальнейшем использовать для создания сети мюонных годоскопов для непрерывного наблюдения за солнечными событиями, возмущениями в магнитном поле и атмосфере Земли. Это обуславливает практическую ценность полученных в диссертации Барбашиной Н.С. результатов.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений. Полученные в работе Барбашиной Н.С. результаты и выводы хорошо обоснованы. В проведенных экспериментах использовано надёжное и многократно прошедшее апробацию оборудование. Выполненные численные расчёты и теоретические заключения базируются на серьёзной научной и справочной литературе. Результаты, представленные в диссертации, доложены на 42 международных и всероссийских конференциях. Также результаты диссертации опубликованы в 15 статьях в журналах из списка ВАК. Всего по теме диссертационной работы имеется 44 публикации, оформлено 2 патента. В опубликованных статьях и в автореферате результаты представленной диссертации отражены достаточно полно.

Замечания к диссертационной работе.


1. Представленный во Введении обзор литературы охватывает в основном установки для регистрации мюонов. Хотя именно методический аспект является основным направлением настоящей работы, тем не менее, в ней получены важные результаты, касающиеся наблюдений динамических процессов в гелиосфере и магнитосфере. Поэтому во Введении следовало бы уделить определенное внимание и этим разделам современной физики космоса.
2. В Гл. 1, посвященной описанию мюонного годоскопа, достаточно подробно обсуждаются атмосферные эффекты, следовало бы также учесть влияние магнитного поля Земли на локальную анизотропию потока мюонов. Хотя энергия регистрируемых мюонов соответствует энергии первичных частиц, которая в среднем выше порога геомагнитного обрезания, сами мюоны, особенно вблизи заявленного энергетического порога установки УРАГАН 200 - 400 МэВ могут «чувствовать» магнитное поле.
3. В Гл. 2, посвященной долговременным вариациям потока мюонов, отмечен эффект, когда среднемесячные скорости счета мюонного годоскопа, начиная с 2016 г. значительно отличаются от соответствующих показаний нейтронных мониторов, в то время как в период предыдущего минимума солнечной активности такого расхождения не было. Учитывая, что энергетический порог регистрации в пересчете на энергию первичных частиц у нейтронных мониторов существенно ниже, чем у мюонного годоскопа, имело бы смысл дать какую-либо интерпретацию этого интересного эффекта.
4. В гл. 5, в разделе, где рассматривается влияние высокоскоростных потоков солнечного ветра на потоки космических лучей, следовало бы сопоставить временные зависимости параметров межпланетной среды и геомагнитной активности с параметрами, характеризующими локальную относительную анизотропию потока мюонов, на большем временном интервале, чем приведено на рис. 5.17. Это позволило бы убедиться, что изменения параметров анизотропии связаны именно с отмеченными геомагнитными возмущениями, а не меняются по другим причинам. Кроме того, утверждение в тексте на с. 148 о том, что в период 11 – 13 августа 2017 г. «возрастание скорости солнечного ветра и возмущение в магнитосфере Земли не наблюдались» противоречат рис. 5.17а, на котором видно явное возрастание скорости солнечного ветра 11 августа.
5. В диссертации имеется ряд досадных опечаток, см., например подпись к рис. 6.13 на с. 169. Кроме того автор использует термин «мюонография» в двух значениях – как название самого метода и как наименование нормированных угловых матриц, что затрудняет восприятие текста. Во втором случае уместнее было бы использовать термин «мюонограмма».

Указанные замечания не снижают научной ценности, новизны и актуальности результатов, представленных в диссертации Н.С. Барбашиной.

Заключение. Таким образом, диссертация Н.С. Барбашиной «Метод мюонографии и его применение для исследования гелиосферы, магнитосферы и атмосферы Земли» соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 с дополнениями от 21 апреля 2016 год № 335, а сама Барбашина Наталья Сергеевна, безусловно, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

Свертилов Сергей Игоревич,


 09.09.22

доктор физико-математических наук,
специальность 01.03.02 – астрофизика и радиоастрономия,
ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Почтовый адрес:

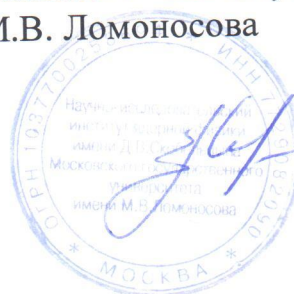
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.1, стр. 2, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына
тел.: 7(926)1119304,
e-mail: sis@coronas.ru

Я, Свертилов Сергей Игоревич, выражаю свое согласие на обработку персональных данных, связанных с защитой диссертации.

 09.09.22

Подпись доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Свертилова Сергея Игоревича удостоверяю:

Ученый секретарь Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова



Е.А. Сигаева

09.09.2022

Список основных публикаций д.ф.-м.н. С.И. Свертилова
по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за
последние 5 лет.

1. Bogomolov, A.V., Bogomolov, V.V., Iyudin, A.F., Ereemeev, V.E., Kalegaev, V.V., Myagkova, I.N., Osedlo, V.I., Petrov, V.L., Peretjat'ko, O.Yu., Prokhorov, M.I., Svertilov, S.I., Zaiko, Yu.K., Yashin, I.V., Prokop'ev, V.Yu., Styuf, A.S., Krasnopeev, s.V., and A.P. Papkov. Space Weather Effects from Observations by Moscow University Cubesat Constellation (2022) Universe, 8, статья № 282.
2. Lipunov, V.M., Kornilov, V.G., Zhirkov, K., Kuznetsov, A., Gorbovskoy, E., Budnev, N.M., Buckley, D.A.H., Lopez, R.R., Serra-Ricart, M., Francile, C., Tyurina, N., Gress, O., Balanutsa, P., Antipov, G., Vlasenko, D., Topolev, V., Chasovnikov, A., Svertilov, S. et al. MASTER Real-Time Multi-Message Observations of High Energy Phenomena (2022) Universe, 8 (5), статья № 271.
3. Bogomolov, V.V., Bogomolov, A.V., Dement'ev, Y.N., Ereemeev, V.E., Zaiko, Y.K., Kalegaev, V.V., Klimov, P.A., Osedlo, V.I., Panasyuk, M.I., Petrov, V.L., Peretjat'ko, O.Y., Podzolko, M.V., Svertilov, S.I. A First Experience of Space Radiation Monitoring in the Multi-Satellite Experiment of Moscow University in the Framework of the Universat-SOCRAT Project (2020) Moscow University Physics Bulletin, 75 (6), pp. 676-683.
4. Bogomolov, V.V., Dosovitskiy, G.A., Iyudin, A.F., Korzhik, M.V., Tikhomirov, S.A., Svertilov, S.I., Kozlov, D.Y., Yashin, I.V. The Timing and Spectral Characteristics of Detectors Based on a Ce:GAGG Inorganic Scintillator Using Photomultiplier Tubes and Silicon Photodetectors (2020) Instruments and Experimental Techniques, 63 (5), pp. 633-640.
5. Svertilov, S., Bengin, V., Bogomolov, V., Garipov, G., Dobynde, , M.I. et al. Monitoring of Radiation Fields in near Earth Space and Atmosphere in New Space Projects of Moscow University (2020) E3S Web of Conferences, 196, статья № 02019.
6. Petrov, V.L., Bogomolov, A.V., Bogomolov, V.V., Kalegaev, V.V., Panasyuk, M.I., Svertilov, S.I., Kosenko, A.A. Spatial and Temporal Characteristics of Subrelativistic Electron Fluxes in the Near-Earth Space from the Vernov Satellite Data (2020) Geomagnetism and Aeronomy, 60 (2), pp. 151-161.
7. Panasyuk, M., Klimov, P., Svertilov, S., Belov, A., Bogomolov, V.V. et al. Universat-SOCRAT multi-satellite project to study TLEs and TGFs (2019) Progress in Earth and Planetary Science, 6 (1), статья № 35.
8. Korzhik, M., Brinkmann, K.-T., Dosovitskiy, G., Dormenev, V., Fedorov, A., Komar, D., Kozemiakin, V., Kozlov, D., Mechinsky, V., Zaunick, H.-G., Yashin, I., Iyudin, A., Bogomolov, V., Svertilov, S., Maximov, I. Detection of neutrons in a wide energy range with crystalline $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$, Lu_2SiO_5 and $LaBr_3$ doped with Ce scintillators (2019) Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 931, pp. 88-91.

9. Bogomolov, V.V., Iyudin, A.F., Maximov, I.A., Panasyuk, M.I., Svertilov, S.I. Long lasting low energy thunderstorm ground enhancements and possible Rn-222 daughter isotopes contamination (2019) *Physical Review D*, 99 (10), статья № 108101.
10. Iyudin, A.F., Svertilov, S.I. Application of Scintillation Detectors in Cosmic Experiments (2019) *Springer Proceedings in Physics*, 227, pp. 165-185.
11. Sadovnichii, V.A., Panasyuk, M.I., Lipunov, V.M., Bogomolov, A.V., Bogomolov, V.V., Garipov, G.K., Gorbovskoy, E.S., Zimnukhov, D.S., Iyudin, A.F., Kaznacheeva, M.A., Kalegaev, V.V., Klimov, P.A., Kovtikh, A.S., Kornilov, V.G., Kuznetsov, N.V., Maksimov, I.A., Mit, S.K., Osedlo, V.I., Petrov, V.L., Podzolko, M.V., Popova, E.P., Poroykov, A.Y., Rubinstein, I.A., Saleev, K.Y., Svertilov, S.I., et al. Monitoring of Natural and Technogenic Space Hazards: Results of the Lomonosov Mission and Universat-SOCRAT Project (2018) *Cosmic Res.*, 56 (6), pp. 488-497.
12. Garipov, G.K., Panasyuk, M.I., Svertilov, S.I., Bogomolov, V.V., Barinova, V.O., Saleev, K.Y. Global Technogenic Day- and Nightglows Detected onboard the Vernov Satellite in the Ultraviolet and Infrared Optical Spectral Ranges (2018) *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 127 (4), pp. 671-683.
13. Sadovnichiy, V.A., Panasyuk, M.I., Lipunov, V.M., Bogomolov, A.V., Bogomolov, V.V., Garipov, G.K., Gorbovskoi, E.S., Iyudin, A.F., Kaznacheeva, M.A., Kalegaev, V.V., Klimov, P.A., Kovtyh, A.S., Kornilov, V.G., Kuznetsov, N.V., Maksimov, I.A., Podzolko, M.V., Popova, E.P., Poroykov, A.Y., Rezaeva, A.A., Rubinshtein, I.A., Saleev, K.Y., Svertilov, S.I., et al. Project "universat-SOCRAT" of Multiple Small Satellites for Monitoring of Natural and Technogenic Space Hazards (2018) *Open Astronomy*, 27 (1), pp. 126-131.
14. Sadovnichii, V.A., Panasyuk, M.I., Amelyushkin, A.M., Bogomolov, V.V., Beninghin, V.V., Garipov, G.K., Kalegaev, V.V., Klimov, P.A., Khrenov, B.A., Petrov, V.L., Sharakin, S.A., Shirokov, A.V., Svertilov, S.I., et al. "Lomonosov" Satellite—Space Observatory to Study Extreme Phenomena in Space (2017) *Space Science Reviews*, 212 (3-4), pp. 1705-1738.
15. Panasyuk, M., Sadovnichy, V., Panasyuk, M., Svertilov, S., Bogomolov, V., et al, Lomonosov - UHECR/TLE and GRB collaborations Space astrophysical observatory «Lomonosov»: The first results (2017) *Proceedings of Science*.