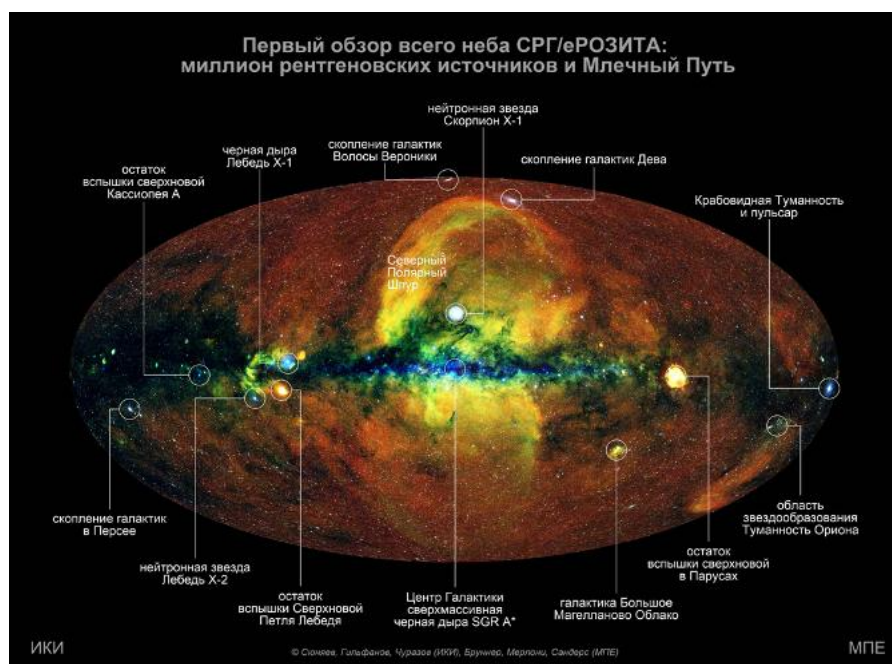


ВАЖНЕЙШИЕ (УНИКАЛЬНЫЕ) РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИКИ РАН 2020 г.

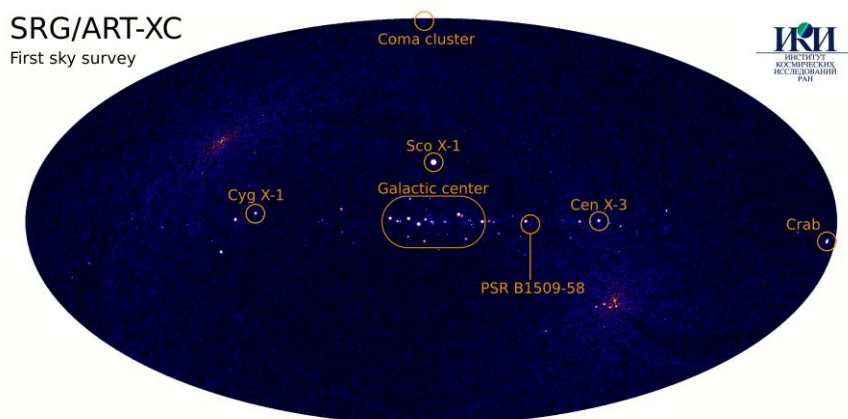
Первый рентгеновский обзор всего неба орбитальной обсерватории Спектр-РГ

Р.А. Сюняев, руководитель проекта Спектр-РГ, от имени коллектива

В декабре 2019 года российская орбитальная обсерватория Спектр-РГ начала проводить обзор всего неба в рентгеновских лучах и уже в июне 2020 года завершила первое сканирование небесной сферы. Телескоп eROSITA (Германия) построил лучшую в мире детальную карту всего неба в рентгеновских лучах и обнаружил около миллиона источников мягкого рентгеновского излучения – на порядок больше, чем было известно раньше. Большинство найденных объектов являются активно растущими сверхмассивными черными дырами – ядрами активных галактик и далекими квазарами, светившими, когда Вселенная была в десять раз моложе. Обнаружено также порядка 20 тысяч скоплений галактик и 200 тысяч звезд с горячими коронами в нашей Галактике. Построена карта диффузного рентгеновского излучения, отражающая распределение газа с температурой несколько миллионов градусов в Галактике и холодного газа, поглощающего это излучение. Среди диффузных структур – остатки вспышек сверхновых, в которых главную роль играют ударные волны, распространяющиеся по межзвездной среде, и такие гигантские образования как Северный Полярный Шпур. Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского (Россия) уже за полгода получил уникально четкую карту всего неба в более жестком рентгеновском диапазоне энергий и обнаружил излучение от более чем 600 источников, в том числе нескольких десятков ранее неизвестных объектов в Галактике и за ее пределами. Среди них – сверхмассивные черные дыры, окруженные толщей холодного газа и невидимые в мягких рентгеновских лучах. Важно отметить, что карты неба подобной полноты в жестком рентгеновском диапазоне строились обсерваториями предыдущего поколения в течение десятилетий. Обзор обсерватории Спектр-РГ продлится еще три года. Всего будет проведено 8 сканов всего неба. Это позволит расширить каталог рентгеновских источников еще на порядок и изучить такие экстремальные астрофизические явления, как приливные разрушения звезд вблизи сверхмассивных черных дыр.



Карта неба в диапазоне энергий 0.3-2.3 кэВ, построенная учеными Института космических исследований Российской академии наук и Института внеземной физики Общества Макса Планка (Германия) по данным первых 6 месяцев сканирования неба с помощью телескопа eROSITA обсерватории СРГ.



Карта неба в диапазоне энергий 4-12 кэВ, полученная учеными ИКИ РАН по данным первых 6 месяцев сканирования неба с помощью телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ.

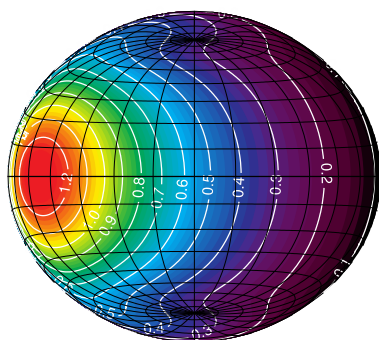
II. Физические науки, направление 16. Номер темы в системе «Парус»: 0028-2019-0014

Модели излучения быстро вращающихся нейтронных звезд

Путанен Ю., Сулейманов В.Ф.

Свойства вещества при плотностях, превышающих плотность атомных ядер, являются до сегодняшнего времени неизвестными. Определение радиусов нейтронных звезд (НЗ) дает возможность решить эту фундаментальную физическую проблему астрофизическими методами. Для определения радиусов НЗ необходимо иметь правильную теоретическую модель их спектров излучения. В представленном цикле работ были разработаны методы расчетов излучения с поверхности быстро вращающихся НЗ. Учтены эффекты специальной и общей теории относительности, и отклонение формы НЗ от сферической. Для учета искривления лучей света в поле тяготения компактных объектов предложено новое аналитическое выражение, которое ускоряет расчеты в тысячи раз по сравнению со стандартными методами. Впервые были разработаны модели атмосфер миллисекундных пульсаров, которые будут использованы для определения масс и радиусов НЗ с использованием данных рентгеновского телескопа NICER. Для учета влияния вращения НЗ в миллисекундных пульсарах на фазовое изменение поляризации излучения получены формулы, необходимые для интерпретации данных космического рентгеновского поляриметра IXPE.

Иллюстрация: изображение быстро вращающейся нейтронной звезды с термоядерным горением на поверхности.



Статьи опубликованы в 2020 г. в журнале *Astronomy & Astrophysics* с импакт фактором 5,636.

Suleimanov V.F., Poutanen J., Werner K.: *Observational appearance of rapidly rotating neutron stars. X-ray bursts, cooling tail method and radius determination*, 2020, *A&A*, 639, A33

Salmi T., Suleimanov V.F., Nättilä J., Poutanen J.: *Magnetospheric return-current-heated atmospheres of rotation-powered millisecond pulsars*, 2020, *A&A*, 641, A15

Poutanen J.: *Accurate analytic formula for light bending in Schwarzschild metric*, 2020, *A&A*, 640, A24

Poutanen J.: *Relativistic rotating vector model for X-ray millisecond pulsars*, 2020, *A&A*, 641, A166

II. Физические науки, направление 16; мегагрант.

Распределение и перенасыщение атмосферной воды на Марсе в пылевой сезон

Федорова А.А., Кораблев О.И., Лугинин М., Трохимовский А, Беляев Д., Игнатъев Н., Шакун А., Григорьев А., Патракеев А., Корса С., Коконков Н.

Считается, что потеря воды на Марсе – результат ее фотодиссоциации и последующей диссипации водорода в космос, причем чем выше поднимается молекула воды в атмосфере, тем эффективнее идет этот процесс. Наблюдения атмосферы Марса комплексом спектрометров ACS (Atmospheric Chemistry Suite) на орбитальном аппарате ExoMars Trace Gas Orbiter ACS во время глобальной пылевой бури в июне 2018 г. (марсианский год 34) позволили впервые детально исследовать распределение воды на средних и больших высотах (до 100 км). Одновременно были получены профили температуры атмосферы, пыли и облаков. Оказалось, что в южном полушарии атмосферная вода достигает больших высот во время всего сезона перигелия (лето в южном полушарии), включая глобальную пылевую бурю и региональный шторм. Кроме того, обнаружено перенасыщение водяного пара, часто наблюдаемое одновременно с облаками. Повсеместное и глубокое перенасыщение означает, что холодная область тропопаузы, препятствующая проникновению воды в верхнюю атмосферу на Земле, не работает на Марсе, и диссипации воды с Марса идет легче, чем считалось ранее.



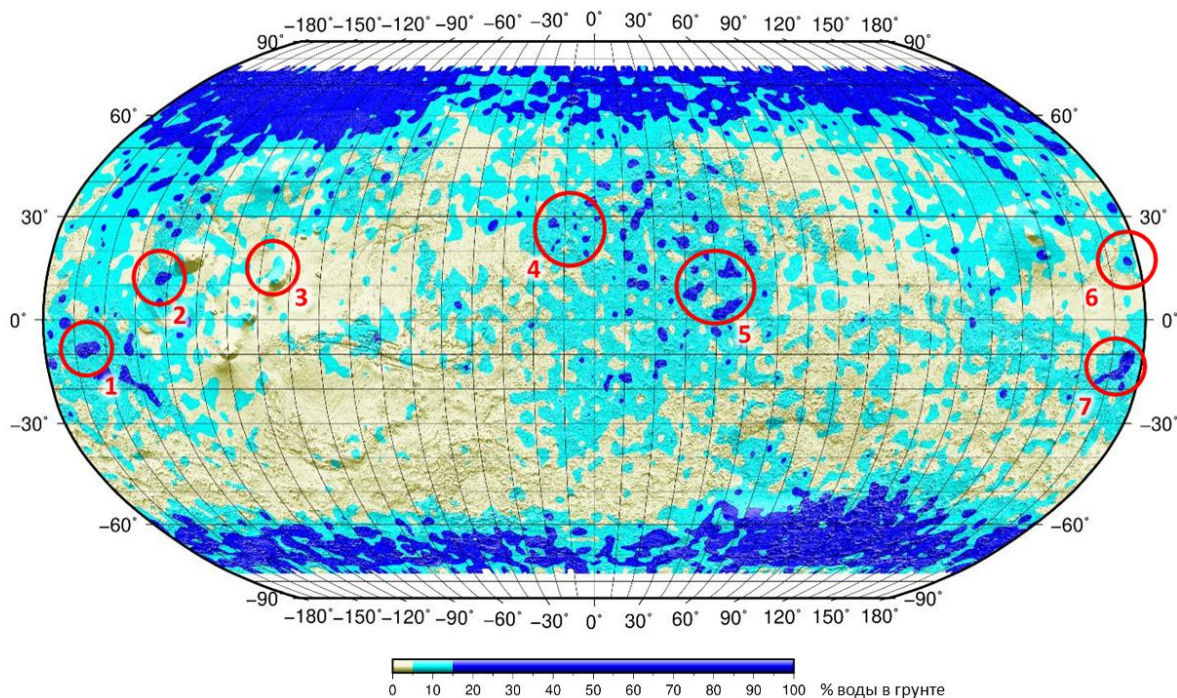
Схематичное представление «убегания» воды из атмосферы Марса. Солнечные лучи нагревают полярные шапки, увеличивая содержание атмосферной воды. Ветер переносит водяной пар в более высокие и холодные слои атмосферы. Здесь водяной пар может конденсироваться, образуя облака и остаться в атмосфере планеты. Обнаруженное перенасыщение означает, что часть молекул воды поднимается ещё выше, где они распадаются на атомы водорода и кислорода под действием солнечного ультрафиолета.
Изображение ESA

Fedorova, A. A., [Montmessin, F.](#), [Korablev, O.](#), [Luginin, M.](#), [Trokhimovskiy, A.](#), [Belyaev, D.](#), [Ignatiev, N. I.](#), [Lefèvre, F.](#), [Alday, J.](#), [Irwin, P. G. J.](#), [Olsen, K. S.](#), [Bertaux, J.-L.](#), [Millour, E.](#), [Määttänen, A.](#), [Shakun, A.](#), [Grigoriev, A. V.](#), [Patrakeev, A.](#), [Korsa, S.](#), [Kokonkov, N.](#), [Baggio, L.](#), [Forget, F.](#), [Wilson, C. F.](#) (2020). "Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season." *Science* **367**(6475): 29 DOI: 10.1126/science.aay9522

«Оазисы» льдистой вечной мерзлоты вблизи экватора Марса: нейтронное картографирование планеты по данным прибора ФРЕНД на борту спутника TGO российско-европейского проекта «ЭкзоМарс»

*А. В. Малахов, И. Г. Митрофанов, М. Л. Литвак, А. Б. Санин, Д. В. Головин, М. В. Дьячкова,
С. Ю. Никифоров, А. А. Аникин, Д. И. Лисов, Н. В. Лукьянов, М. И. Мокроусов*

Изучение распространенности воды в приповерхностном слое вещества является одним из главных направлений космических исследований Марса. Нейтронное зондирование Марса с орбиты – один из наиболее эффективных способов измерения количественного содержания воды в приповерхностном грунте, однако пространственное разрешение таких измерений, до сих пор, составляло сотни километров. Это не позволяло отождествлять районы повышенного содержания воды со структурами рельефа. Благодаря высокому пространственному разрешению прибора ФРЕНД, установленного на борту искусственного спутника Марса TGO, достигается пространственное разрешение в 60–200 км. За период работы прибора с мая 2018 г. получена детальная карта содержания воды в приповерхностном грунте Марса, выявлены локальные «оазисы» вблизи экватора, оценка содержания воды в которых достигает десятков процентов по массе. Существование таких «оазисов» крайне важно как с точки зрения выбора мест посадки будущих миссий, так и для понимания роли гидрологических процессов в эволюции Марса.



Публикация: Малахов А.В., Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Санин А.Б., Головин Д.В., Дьячкова М.В., Никифоров С.Ю., Аникин А.А., Лисов Д.И., Лукьянов Н.В., Мокроусов М.И. «ОАЗИСЫ» ЛЬДИСТОЙ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ВБЛИЗИ ЭКВАТОРА МАРСА: НЕЙТРОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПЛАНЕТЫ ПО ДАННЫМ ПРИБОРА ФРЕНД НА БОРТУ СПУТНИКА TGO РОССИЙСКО-ЕВРОПЕЙСКОГО ПРОЕКТА «ЭКЗОМАРС». Письма в астрономический журнал, 2020, том 46, № 6, с. 435–450, [DOI:10.31857/S0320010820060078](https://doi.org/10.31857/S0320010820060078).

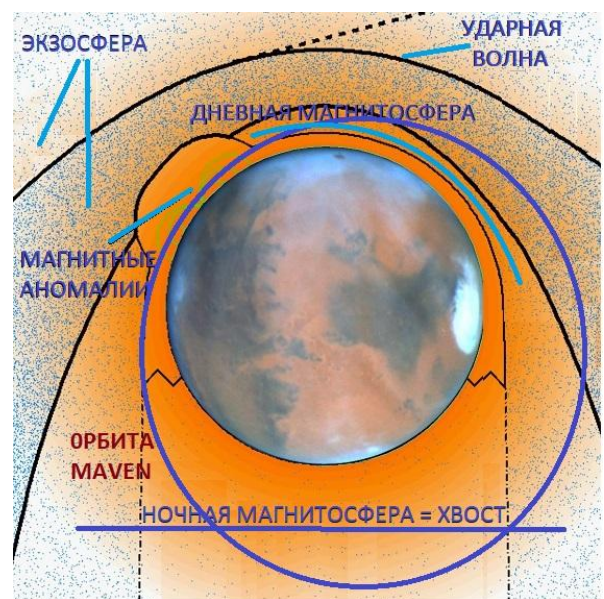
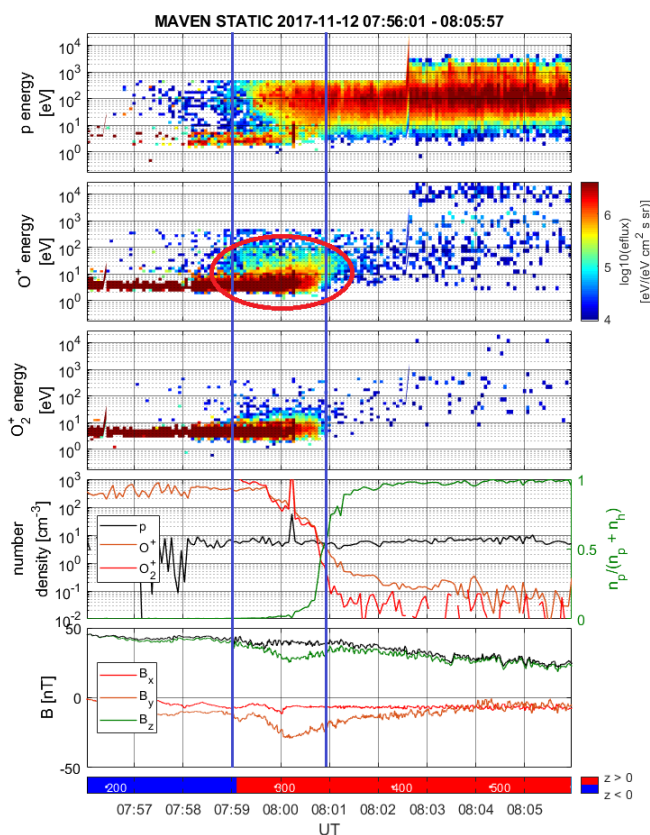
II. Физические науки, направление 16 Тема ОСВОЕНИЕ номер в системе «Парус» НИР и ГЗ: 0028-2018-0003 Гос. регистрация №: АААА-А18-118012290370-6

Открытие дневной магнитосферы Марса

Вайсберг О.Л., Шувалов С.Д.

Горячая плазменная оболочка Марса была обнаружена на спутниках Марс-2,-3 и -5 в 1970-х гг. С 2014 г. искусственный спутник Марса MAVEN позволил детально исследовать эту оболочку. Было обнаружено постоянное существование тонкой, ~ 200-300 км, магнитно-плазменной оболочки, являющейся дневным продолжением магнитосферы Марса и влияющей на потери плазмы Марсом.

Дневная магнитосфера представляет собой промежуточный слой между внешним потоком горячей солнечной плазмы и холодной плазмой ионосферы внутри. Население магнитосферы состоит из двух компонентов: (1) разогретой и ускоренной плазмы ионосферы и (2) ионов экзосферы, ускоренных индукционным электрическим полем солнечного ветра. Эти ускоренные ионы экзосферы благодаря большому гирорадиусу свободно проникают в верхний слой ионосферы нагревают и ускоряют ионосферные ионы. Это новый процесс образования магнитосфер и установления их роли в последующих атмосферных потерях.



Эллиптическая орбита спутника MAVEN и основные области плазменной оболочки Марса

Верхние 3 панели – диаграммы время-энергия протонов, O⁺ и O²⁺.

Ионосфера (слева), магнитосфера (в овале, между вертикалями) и разогретый поток солнечного ветра (справа).

Работа, опубликована в журнале ICARUS: O.L. Vaisberg, S.D. Shuvalov (2020). Properties and Sources of the Dayside Martian Magnetosphere, Icarus

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103520304334?via%3Dihub>
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114085>

II. Физические науки, направление 16 Тема ПЛАЗМА номер в системе «Парус» НИР и ГЗ: 0028-2019-0017

Впервые решена задача ежегодного мониторинга объема древесной биомассы лесов России на основе данных дистанционного зондирования из космоса

Институтом космических исследований РАН и Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН разработаны новые научные подходы, а также уникальный комплекс методов и технологий, позволяющие на основе спутниковых данных дистанционного зондирования Земли осуществлять ежегодный мониторинг объема древесной биомассы в лесах России. Разработанные методы основаны на использовании, прошедших фильтрацию влияния облаков и радиометрическую нормализацию, временных рядов данных спутниковых измерений оптических характеристик земного покрова, и установлении локально-адаптивных функций их связи с объемом древесной биомассы и породного состава лесов. Применение комплекса разработанных методов и технологий впервые позволило получить временной ряд ежегодных оценок объема древесной биомассы лесов России за период с 2005 по 2017 годы с пространственным разрешением 230 м (рис. 1). Сформированный уникальный набор данных позволил выявить (рис. 2) наличие выраженного тренда нарастания объемов древесной биомассы лесов страны, включая живые деревья и сухостой в насаждениях, в диапазоне значений от $112,1 \times 10^9 \text{ м}^3$ до $117,1 \times 10^9 \text{ м}^3$, при среднегодовом приросте объема около $314,5 \times 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$.



Рис. 1 Карта объема древесной биомассы в лесах России в 2017 г.

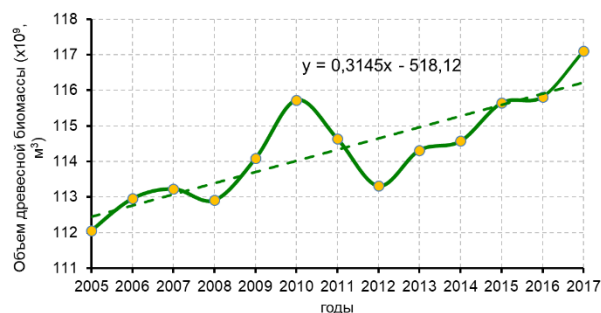


Рис. 2 Динамика объема древесной биомассы в лесах России

Полученные результаты не имеют аналогов и открывают возможность решения важнейшей государственной задачи объективной ежегодной оценки поглощаемого лесами России атмосферного углерода, не обеспечиваемую ни одним из других существующих в настоящее время методов. С принятием Парижского соглашения по климату острота проблемы объективности, полноты и точности учета углеродного бюджета лесов приобретает чрезвычайную важность. Объем древесной биомассы и породный состав лесов относятся к числу важнейших их характеристик, непосредственно определяющих содержание в них углерода. Данные о динамике объема древесной биомассы лесов позволяют оценивать количество поглощаемого ими из атмосферы углекислого газа.

Имевшиеся до настоящего времени оценки углеродного бюджета лесов России отличаются крайне высокой степенью неопределенности, источником которой является, прежде всего, недостаток достоверной и актуальной информации о лесах. Разработанные методы и полученные на их основе результаты позволяют кардинально снизить уровень этой неопределенности.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда на проведение исследований на базе Лабораторий мирового уровня (проект «Космическая научная обсерватория мониторинга углерода лесов России»), руководитель – д.т.н., проф.

Барталев С.А.). При проведении исследований использовалась инфраструктура Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №19-77-30015). При проведении исследований использовалась инфраструктура Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг», развиваемая и поддерживаемая в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Номер темы в системе ПАРУС: 0028-2019-0015 "IX. Науки о Земле, направление 137; 138"

Эти результаты исследований утверждены Учёным советом 27 ноября 2020г., протокол № 5.

Директор ИКИ РАН

чл.-корр. РАН

Учёный секретарь ИКИ РАН

к.ф.-м.н.



[Handwritten signature in blue ink]

А.А. Петрукович

А.М. Садовский