

**Комитет по использованию космического
пространства в мирных целях****Доклад о работе практикума Организации
Объединенных Наций по Международной инициативе
по космической погоде: дальнейшие действия**

(Вена, 26–30 июня 2023 года)

I. Введение

1. Космическая погода зависит от солнечной активности и характера магнитного поля и атмосферы Земли. В мире растет заинтересованность в лучшем понимании солнечно-земного взаимодействия, в частности закономерностей и общих тенденций космической погоды. Это обусловлено не только научными соображениями, но и тем, что безотказное функционирование наземной и космической техники и инфраструктуры все больше зависит от их устойчивости к негативному воздействию космической погоды.
2. Реализуемая с 2009 года Международная инициатива по космической погоде — это программа международного сотрудничества, направленная на развитие космической метеорологии посредством развертывания сетей таких измерительных приборов, как магнитометры, солнечные телескопы, сверхнизкочастотные мониторы, приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и детекторы частиц, проведения анализа собранных с их помощью данных о космической погоде, в сочетании с другими данными, а также информирования о результатах такого анализа широкой общественности, ученых-исследователей и студентов.
3. Международный комитет по глобальным навигационным спутниковым системам (МКГ) играет важную роль в работе по реализации Инициативы, поскольку ГНСС-приемники используются для лучшего понимания динамических процессов в атмосфере Земли, обусловленных экстремальной космической погодой и солнечно-земным взаимодействием, и воздействия этих процессов на спутники.
4. Информация о всех результатах, достигнутых благодаря международному сотрудничеству и координации в рамках Инициативы, в том числе относительно инструментальной базы, анализа данных, моделирования, образования, подготовки кадров и работы с общественностью, публикуется в электронном информационном бюллетене Инициативы и на ее веб-сайте (www.iswi-secretariat.org). Информационный бюллетень раз в месяц издает космическая компания ArkEdge Space, расположенная в Японии, а веб-сайт ведет Бостонский колледж, Соединенные Штаты Америки. Кроме того, в рамках Инициативы проводятся



вебинары по темам, имеющим отношение к солнечно-земной физике, записи которых размещаются на канале YouTube Управления по вопросам космического пространства (ссылки на записи доступны по адресу www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/psa/bssi/iswi_webinars.html).

5. Практикум Организации Объединенных Наций по Международной инициативе по космической погоде: дальнейшие действия был организован и проведен Управлением по вопросам космического пространства при финансовой поддержке МКГ, Европейского космического агентства и Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) Соединенных Штатов. Практикум проходил в смешанном формате в Вене 26–30 июня 2023 года.

6. В настоящем докладе изложены предыстория, цели и программа практикума и приводится резюме высказанных участниками замечаний и сделанных ими выводов. Доклад подготовлен для представления Комитету по использованию космического пространства в мирных целях на его шестьдесят седьмой сессии и для рассмотрения Научно-техническим подкомитетом на его шестьдесят первой сессии, которые обе состоятся в 2024 году.

A. Предыстория и цели

7. В 2013 году Комитет по использованию космического пространства в мирных целях включил тему «Космическая погода» в свою повестку дня в качестве регулярного пункта. Эта тема охватывает и деятельность Международной инициативы по космической погоде, в рамках которой по-прежнему оказывается содействие развертыванию сетей приборов наблюдения за космической погодой, проведению анализа данных, а также программам обучения и подготовки кадров и работы с общественностью. Эта деятельность способствует расширению существующих и развертыванию новых сетей приборов и вводу данных, собранных этими сетями, в физические модели гелиосферных процессов, что позволяет прогнозировать космическую погоду.

8. С учетом рассмотрения Научно-техническим подкомитетом пункта повестки дня «Космическая погода» (см. A/AC.105/1279, пп. 152–164), цели практикума заключались в том, чтобы: а) повысить осведомленность государств-членов о воздействии космической погоды; б) уделить особое внимание развертыванию новых приборов, особенно в развивающихся странах; в) обсудить методы анализа данных по космической погоде; г) уделить особое внимание новым результатам и выводам исследований; и е) поощрять более широкое сотрудничество в развитии партнерских связей между поставщиками и пользователями измерительных приборов. Обсуждения на практикуме были также увязаны с целями в области устойчивого развития.

B. Программа

9. На открытии практикума с приветственным словом выступили представители Управления по вопросам космического пространства и НАСА. С основными докладами выступили представители НАСА и Грацского университета (Австрия).

10. Программа практикума предусматривала проведение восьми заседаний по техническим вопросам и обсуждение замечаний и выводов с последующим заключительным словом организаторов. На технических заседаниях была представлена 61 презентация по тематике следующих областей: а) приборы и данные наблюдения за космической погодой; б) связь между магнитосферой, ионосферой и термосферой; в) мониторинг космической погоды с использованием недорогостоящих приемников; г) моделирование космической погоды; е) влияние космической погоды на технику; ф) исследования космической погоды;

g) национальные и региональные программы по космической погоде; и h) примеры исследований космической погоды. Были проведены два групповых обсуждения, на которых продолжилось рассмотрение вопросов, касающихся приборов наблюдения космической погоды, и вопросов, связанных с региональными механизмами сотрудничества и ресурсами для осуществления проектов.

11. Каждое заседание по техническим вопросам включало в себя обсуждение основных вызовов и проблем, затронутых в презентациях. Результаты обсуждений были обобщены и в краткой форме представлены на заключительном заседании, на котором состоялся итоговый обмен мнениями и были согласованы выводы.

12. Для участников практикума также была организована содержательная техническая экскурсия в национальную геологическую, геофизическую, климатологическую и метеорологическую службу GeoSphere Austria.

13. Одновременно с практикумом был проведен вебинар на тему «Солнечные вспышки и космическая погода» — двенадцатый в серии вебинаров в рамках Инициативы. На вебинаре были подробно рассмотрены факторы, формирующие космическую погоду, и современные исследования солнечных вспышек.

14. Программа была разработана Управлением по вопросам космического пространства в сотрудничестве с международным научным организационным комитетом. Для подготовки настоящего доклада председатели и докладчики, назначенные на технические заседания, предоставили свои замечания и комментарии.

15. С презентациями, представленными на практикуме, рефератами представленных документов, программой практикума и справочными материалами можно ознакомиться на веб-сайте Управления по вопросам космического пространства (www.unoosa.org).

C. Участники

16. Управление по вопросам космического пространства пригласило принять участие в работе практикума и выступить с докладами ученых, инженеров и преподавателей из развивающихся и промышленно развитых стран всех экономических регионов. Состав участников подбирался на основе их научной, инженерной и преподавательской специализации и опыта осуществления программ и проектов, в которых ведущее место отводилось целям Инициативы. Подготовка к практикуму осуществлялась международным научным организационным комитетом и Управлением по вопросам космического пространства.

17. Средства, предоставленные Организацией Объединенных Наций, МКГ и Европейским космическим агентством, были использованы для покрытия путевых расходов, расходов на проживание и других расходов 24 участников из 22 стран. В общей сложности для участия в практикуме были приглашены 228 специалистов.

18. На практикуме очно или онлайн были представлены следующие 37 государств-членов: Австрия, Аргентина, Буркина-Фасо, Гана, Германия, Греция, Египет, Замбия, Индия, Индонезия, Италия, Казахстан, Канада, Кения, Кот-д'Ивуар, Малайзия, Марокко, Мьянма, Непал, Нигерия, Пакистан, Перу, Польша, Российская Федерация, Руанда, Сербия, Словакия, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии, Соединенные Штаты Америки, Таиланд, Турция, Уганда, Франция, Хорватия, Швейцария, Эфиопия и Япония. В работе практикума также приняли участие представители Управления по вопросам космического пространства.

II. Замечания и выводы

19. В основных докладах, представленных на семинаре, был дан обзор солнечных источников космической погоды и их воздействия на геокосмическое пространство. Было отмечено, что к солнечным возмущениям, влияющим на Землю, относятся вспышки, корональные выбросы массы и коротирующие области взаимодействия солнечного ветра. Вспышки на обращенной к Земле стороне Солнца изменяют уровень ионизации в ионосфере, что оказывает существенное влияние на распространение радиоволн и, в свою очередь, влияет на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем. Как коротирующие области взаимодействия солнечного ветра, так и корональные выбросы массы могут вызывать геомагнитные бури, когда они сталкиваются с магнитосферой с южной составляющей поля. Была также представлена обзорная информация о прилагаемых в мире совместных усилий в области космической погоды.

20. Участники напомнили, что в рамках Инициативы продолжается расширение существующих и развертывание новых сетей измерительных приборов и что в настоящее время в мире насчитывается 19 таких сетей, в которых более 1 тыс. приборов регистрируют данные о солнечно-земном взаимодействии — от корональных выбросов массы до колебаний показателей общего содержания электронов в ионосфере.

21. Участники отметили, что спектрометр CALLISTO (недорогостоящий низкочастотный астрономический прибор для спектроскопической переносной обсерватории) представляет собой гетеродинный приемник. Он работает в диапазоне от 45 до 870 МГц, а ширина полосы частот радиометрических наблюдений — около 300 кГц. Для регистрации данных в сети спектрометров CALLISTO используются файлы в формате гибкой системы передачи изображений с охватом до 400 частот. Данные передаются в компьютер по кабелю R232 и заносятся в локальную память. Время интегрирования составляет 1 миллисекунду, а общий динамический диапазон составляет более 40 децибелов. По реализуемой в рамках Инициативы программе развертывания сетей измерительной аппаратуры во всем мире уже применяется множество спектрометров CALLISTO, которые вместе образуют электронную сеть e-CALLISTO. Информация о сети и ее информационных продуктах доступна на сайте сети (www.e-callisto.org).

22. Участники были ознакомлены с радиоастрономической сетью LOFAR (низкочастотная антенная решетка) — многофункциональным, инновационным низкочастотным радиотелескопом, антенные станции которого размещены по всей Европе и который работает в диапазонах от 10 до 240 МГц. Было отмечено, что типичное наблюдение с помощью LOFAR ионосферных структур основано на регистрации скинтилляций, вызываемых прохождением радиоволн. Уровень скинтилляций, вызванных неоднородностями ионосферной плазмы, обычно меняется в зависимости от частоты радиоволн, достигая более высоких значений на более низких частотах. Предварительные результаты показали, что наблюдения сверхвысокочастотных скинтилляций с помощью LOFAR можно использовать для обнаружения плазменных структур, формирующихся в среднеширотной ионосфере. Адрес сайта проекта LOFAR: www.astron.nl/telescopes/lofar/.

23. Участники обсудили испытываемые пользователями проблемы с доступностью и использованием данных, полученных в рамках Инициативы с помощью сетей измерительных приборов, и способы решения этих проблем в будущем. Было подчеркнуто, что для обеспечения непрерывного функционирования сетей приборов требуется координация, а для более широкого использования данных — организация совместной работы по принятию стандарта метаданных, такого как стандарт для документирования данных консорциума SPASE (архив космической физики: поиск и извлечение). Было отмечено, что два прибора — e-CALLISTO и AWESOME (Система электромагнитных наблюдений и моделирования атмосферной погоды в образовательных целях) — теперь зарегистрированы в консорциуме SPASE.

24. Участники отметили, что в состав проектной группы по мониторингу космической погоды с использованием недорогих систем ГНСС-приемников, созданной в 2021 году в рамках Рабочей группы МКГ по распространению информации и наращиванию потенциала, входят эксперты, представляющие Международный центр теоретической физики им. Абдуса Салама (Италия), Бостонский колледж (Соединенные Штаты), Токийский университет и Парижский политехнический институт. Проектная группа продолжает изучать возможности использования недорогих приемных систем для мониторинга космической погоды и опробовать опытную систему. Было отмечено, что, согласно результатам предварительного сравнения наиболее дорогих и недорогих систем ГНСС-приемников, у этих двух категорий устройств схожие характеристики в отношении регистрации вертикального полного электронного содержания (ПЭС), индекса скорости изменения ПЭС и кодово-фазового измерения флуктуаций ПЭС.

25. Участники отметили, что тема магнитосферно-ионосферного взаимодействия в рамках глобальных исследований физики околоземного космического пространства охватывает множество различных вопросов, и в этом отношении предстоит изучить множество различных сложных явлений. С точки зрения космической погоды магнитосферные процессы напрямую связаны с геомагнитной активностью, а также с потоками высокоэнергетических частиц в околоземном пространстве, имеющими ключевое значение. В рамках взаимодействия трех систем — солнечного ветра, магнитосферы и ионосферы — происходит передача энергии солнечного ветра, ее диссипация в авроральных зонах в виде авроральных явлений и в итоге преобразование большей ее части в тепловую энергию в ионосфере.

26. В отношении моделирования космической погоды было отмечено, что космическая погода стала важнейшей частью космической физики и что существует несколько моделей, используемых применительно ко всем факторам космической погоды, включая солнечный ветер и характеристики магнитосферы, ионосферы и даже термосферы. Эти модели используются в конкретных случаях.

27. Участники познакомились с основными численными методами, используемыми при моделировании корональных выбросов массы и их распространения во внутренней гелиосфере, а также обсудили, как сочетание дистанционных наблюдений Солнца и локальных наблюдений выбросов коронального вещества, производимых с нескольких космических аппаратов, позволяет получить более точные и надежные прогнозы в отношении различных областей гелиосферы. Было отмечено, что благодаря сочетанию данных, собираемых приборами наземного и космического базирования, и различных методов, включающих усвоение и обработку данных, удалось адаптировать эмпирические модели, отражающие динамику ионосферы, для лучшего соответствия наблюдениям, проводимым в условиях геомагнитных возмущений.

28. Участники познакомились также с методами машинного обучения, применяемыми для подготовки краткосрочных и среднесрочных прогнозов по различным подобластям космической погоды. Была описана глобальная модель прогнозирования ионосферы на основе машинного обучения, позволяющая прогнозировать полное электронное содержание на 24 часа вперед при различных условиях космической погоды. Было отмечено, что из трех различных методов машинного обучения — долгая краткосрочная память, управляемые рекуррентные блоки и свёрточные нейронные сети — для целей оперативного использования у модели свёрточных нейронных сетей лучшие прогностические возможности даже в условиях геомагнитных возмущений и поэтому она может использоваться в оперативном режиме для прикладных исследований и служб космической погоды.

29. Участники были проинформированы о том, что французский Центр данных по физике космической плазмы (ЦДФКП) предлагает пользователям помощь в поиске данных с космических аппаратов и зондов в Солнечной системе, а также предоставляет комплекс наземной аппаратуры для наблюдения за геокосмическим пространством. Было отмечено, что Центр данных постоянно укрепляет свои функциональные возможности содействовать использованию данных в научной работе и распространению данных, собранных в ходе будущих космических миссий. Для этих целей Центр данных разрабатывает инструментарий и услуги, облегчающие извлечение и анализ данных. Данные хранятся Национальным центром космических исследований (КНЕС) Франции в его центре информационных технологий в Тулузе. Информацию о Центре данных можно найти по адресу <http://cdpp.eu>.

30. Участники отметили, что к числу природных угроз, которые могут приводить к ошибкам и сбоям в работе глобальных навигационных спутниковых систем, относятся и явления космической погоды. Основному воздействию подвергается ионосфера Земли. Из-за ионосферных эффектов прохождение сигналов замедляется, что может вызывать ошибки местоопределения глобальными навигационными спутниковыми системами в пределах от нескольких метров до нескольких десятков метров. Эти эффекты могут также приводить к пропускам счета циклов в результатах фазовых измерений, что ухудшает характеристики местоопределения в кинематическом режиме в реальном времени. Такие связанные с космической погодой параметры, как полное электронное содержание и свойства флуктуаций (амплитуда и фаза), могут быть вычислены путем измерения влияния ионосферы на сигналы ГНСС.

31. Участники приняли к сведению наличие алгоритма выполнения задач по комплексированию данных от нескольких группировок ГНСС и геомагнитных данных в единый набор данных, который можно использовать для разработки моделей расчета ионосферных коррекций ГНСС с использованием статистических и методов и методов машинного обучения. Для реализации этого алгоритма используется комбинация специальных программных средств, разработанных в среде R для статистических вычислений, и бесплатного программного приложения для оценки полного электронного содержания в ионосфере по сигналам ГНСС. Скомплектованные данные, полученные при демонстрации представленного алгоритма, находятся в открытом доступе с целью содействия международному научному сообществу.

32. Что касается прикладных аспектов исследований космической погоды, то был представлен обзор влияния на космическую погоду солнечных частиц высокой энергии, основных процессов их ускорения и переноса в межпланетной среде. Были объяснены два механизма, которые способны ускорять солнечные энергичные частицы, — ударные волны, вызванные солнечными вспышками, и ударные волны, вызванные выбросом коронального вещества. Также был представлен проект AMELIE («Анализ осеннего эффекта в мезосфере и нижней ионосфере») Германского аэрокосмического центра, направленный на автоматическое обнаружение так называемого «осеннего эффекта» при очень низкочастотных измерениях. Согласно уже проанализированным результатам, независимо от солнечного зенитного расстояния, в основном в высоких широтах, в осенний период наблюдается сильный прогрев нижней мезосферы, что подтверждает доминирование внутренней динамики атмосферы.

33. Участники отметили, что пик активности нынешнего 25-го солнечного цикла, известный как солнечный максимум, может наступить раньше и быть мощнее, чем предполагалось. В этой связи ожидается усиление возмущений, обусловленных солнечными явлениями. В качестве основных переходных процессов, имеющих отношение к космической погоде, были названы корональные выбросы массы, высокоскоростные потоки, солнечные вспышки и события, связанные с солнечными энергичными частицами. Так, вспышки на обращенной к Земле стороне Солнца приведут к изменению степени ионизации ионосферы, оказывая существенное влияние на распространение радиоволн, что, в свою

очередь, может повлиять на прохождение сигналов ГНСС. Вспышечные излучения в радиодиапазоне могут заглушать сигналы спутников и радиолокационных станций и нарушать их работу.

34. Заседания, посвященные национальным программам и тематическим исследованиям в области космической погоды, предоставили участникам дополнительную возможность поделиться опытом в целях повышения осведомленности о явлениях космической погоды и их потенциальных последствиях. Было признано, что успешному проведению исследований космической погоды способствуют эффективная международная координация и сотрудничество в области обмена имеющимися данными наблюдений и их использования; оценка возможностей прогнозирования и анализа космической погоды; развитие знаний, теории и моделирования; и использование научных достижений в прикладных исследованиях космической погоды.

35. В рамках практикума состоялись два групповых обсуждения тем «Инструментарий Инициативы» и «Дальнейшие действия». Предполагалось обсудить современное состояние созданных в рамках Инициативы сетей измерительных приборов и выявить любые существенных пробелы в типах аппаратуры и охвате измерениями; выявить проблемы в обслуживании приборов и передаче потока данных с точки зрения непрерывности, сбора, анализа и моделирования данных; а также обсудить возможности привлечения молодых ученых и поддержать другие текущие международные инициативы.

36. Основные выводы, сделанные в ходе групповых обсуждений, сводятся к следующему:

а) данные от сетей измерительных приборов Инициативы следует объединять с космическими и другими наземными данными для развития космической метеорологии, создавая тем самым условия для подготовки солидных исследовательских материалов и публикации научных трудов в международных журналах, а сообществам специалистов по космической погоде и по глобальным навигационным спутниковым системам следует обмениваться данными и сотрудничать в исследованиях космической погоды;

б) организуемые в рамках Инициативы школы космических наук и ежегодно организуемые практикумы Организации Объединенных Наций, посвященные Инициативе, следует и далее проводить для обучения менее опытных исследователей гелиофизике и работе с измерительными приборами. Уже установленные партнерские отношения с международными научными организациями нуждаются в дальнейшем развитии для обеспечения эффективности такой деятельности по наращиванию потенциала в интересах всех государств-членов;

в) информацию о новых знаниях, полученных в результате деятельности в рамках Инициативы, следует должным образом доводить до сведения общественности и научного сообщества в целом через информационные бюллетени и веб-сайт Инициативы и другие средства массовой информации.

37. Участникам сообщили, что к концу 2023 выйдет специальный выпуск журнала *Sun and Geosphere* («Солнце и геосфера»), посвященный влиянию Солнца на магнитосферу, ионосферу и атмосферу. Участникам было предложено предоставить журналу результаты проведенных ими исследований по космической погоде и солнечно-земной физике.

38. Участники выразили признательность Организации Объединенных Наций и спонсорам за содержательную программу, отличную организацию и успешное завершение практикума.