

ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА АВИАЦИЮ

*А.П. Соколова*¹⁾, *О.В. Волобуева*²⁾

¹⁾ Северо-Западный филиал ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: nst.palna@yandex.ru

²⁾ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ovvolobueva@rshu.ru

В статье приведен обзор космической погоды как гелиогеофизического явления и способы донесения информации о возможной опасности до авиационных пользователей. Рассматривается влияние космической погоды на полеты воздушных судов на примере нескольких мощных солнечных вспышек, изучается влияние опасных гелиогеофизических явлений на высокочастотную связь, спутниковое позиционирование и на радиацию. Проанализирован архив консультативных сообщений о космической погоде за период сентябрь 2020 – январь 2023 гг. и текущий двадцать пятый солнечный цикл.

Ключевые слова: космическая погода; авиационная метеорология; опасные гелиогеофизические явления; консультативные сообщения; геомагнитные бури; солнечные вспышки.

SPACE WEATHER HAZARDS AND THEIR IMPACTS ON AVIATION

*A.P. Sokolina*¹⁾, *O.V. Volobueva*²⁾

¹⁾ North-Western branch of the Federal State Budgetary Institution Aviamet-telecom of Roshydromet, St. Petersburg, Russia, e-mail: nst.palna@yandex.ru

²⁾ Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia, e-mail: ovvolobueva@rshu.ru

The article provides an overview of space weather as a heliogeophysical phenomenon and ways to convey information about a possible danger to aviation users. The influence of space weather on aircraft flights is considered on the example of several powerful solar flares, the influence of dangerous heliogeophysical phenomena on high-frequency communications, satellite positioning and radiation is studied. The archive of advisory messages on space weather for the period September 2020 - January 2023 was analyzed. and the current twenty-fifth solar cycle.

Keywords: space weather; aviation meteorology; dangerous heliogeophysical phenomena; advisory messages; geomagnetic storms; solar flares.

После нескольких масштабных геомагнитных бурь, повлекших за собой изменение трасс полетов воздушных судов и возросшей радиационной

опасности для летного экипажа, ИКАО вынесло решение о создании специализированной службы, необходимой для аэронавигации, которая бы следила за космической погодой. 19 ноября 2019 года была создана служба непрерывного мониторинга космической погоды, которая обязана предоставлять для авиации консультативные сообщения о космической погоде. Всего было создано три международных глобальных центра: консорциум ACFJ (Австралия, Канада, Франция, Япония), европейский консорциум PECASUS и США. Также были созданы два региональных центра: ЮАР и консорциум Китай-Российская Федерация. Россию представляет Институт прикладной геофизики (ИПГ) им. Фёдорова [1].

Глобальные центры космической погоды проводят дежурства, наблюдая за активностью Солнца, космическими лучами, состоянием магнитосферы и ионосферы, а также за составом высокоэнергичных частиц в атмосфере Земли. Дежурства длятся по две недели. Каждый из центров космической погоды обладает обширной сетью наземной и спутниковой аппаратуры.

Несмотря на то, что явления космической погоды могут возникнуть за короткое время, их влияние проявляется практически сразу и длится до нескольких дней. В настоящее время основными геоэффективными проявлениями космической погоды являются: солнечные радиовсплески, влияющие на работу приемных радиосредств; наведенные геоэлектрические поля, влияющие на проводные системы энергопитания и связи; ионизирующая радиация, влияющая на работоспособность электронной аппаратуры и жизнедеятельность организмов; расширение верхних слоев атмосферы, ведущее к повышению температуры и плотности этих слоев и влияющее на динамику и время жизни искусственных спутников Земли; а также ионосферные возмущения, влияющие на процессы распространения и рассеяния радиоволн. Известно, что Солнце является источником корпускулярного и волнового излучения. Корпускулярное излучение, достигая границы магнитосферы Земли, взаимодействует с ней, что приводит к возникновению электрических полей и токов в магнитосфере. Высыпание заряженных частиц из магнитосферы в области магнитных полюсов увеличивает электронную концентрацию в ионосфере, что приводит к усилению поглощения радиоволн, как результат — понижение амплитуды или пропадание радиосигналов на трассах, проходящих через эти области. Наличие солнечного ветра способно изменить размеры и форму магнитосферы, что приводит к сдвигу географической области явлений, связанных с высыпаниями частиц (полярные сияния, сильные ионосферные токи, поглощение радиоволн), от высоких широт к средним. Во время геомагнитных бурь в ионосферу поступает дополнительная энергия, появляется избыточная иониза-

ция, вызывающая деформацию слоя. Из-за этого происходят сбои в высокочастотной связи, так как радиоволны поглощаются или отражаются. Воздействие солнечной вспышки на ионосферу длится от нескольких минут до нескольких часов и называется ионосферным штормом [2].

Наведение электромагнитных полей в проводниках внутри радиостанции, изменение потенциалов за счет дополнительной ионизации фоновым излучением, возникновение дополнительных токов за счет проникновения дополнительных зарядов извне, а также повышение фонового электромагнитного излучения и концентрации различных частиц во время возмущений может приводить к сбоям радиоаппаратуры и изменению характеристик оборудования под действием частиц. Внезапные усиления радиоизлучения (солнечные радиовсплески), испытывающие вариации интенсивности, вызывают неожиданные помехи в работе радиолокационной, радиосвязной и радиоприемной аппаратуры. Геомагнитные возмущения могут приводить к усилению токов в коре Земли, в основном за счет усиления авроральных токов в полярной ионосфере и влияют на стабильность функционирования электрических систем. Основные радиосредства, находящиеся под влиянием космической погоды, — это средства КВ-радиосвязи, средства связи поверхность-космос, глобальные навигационные системы, загоризонтные радиолокаторы, спутниковые высотомеры и радары космического базирования [2].

Опасные гелиогеофизические явления влияют на спутниковую навигацию тремя способами: появляются шумы в сигнале из-за радиоизлучения Солнца; приемники теряют захват сигнала; рассчитанное местоположение может быть некорректным. Все спутники GNSS имеют две частоты для передачи сигналов со спутника на наземный приемник: 1575,42 МГц и 1227,60 МГц. Во время солнечных вспышек излучение от Солнца генерируется на таких же длинах волн [3].

Ошибка в определении местоположения объекта из-за ионосферных бурь является наиболее распространенной. Стоит учитывать, что в ионосфере могут образоваться области, где концентрация электронов будет сильно повышена (понижена) по сравнению с общим слоем. Такие пятна приводят к тому, что скорость сигнала непредсказуемо изменяется. Соответственно, определяемое расстояние через точку отражения увеличивается (уменьшается) на десятки метров по сравнению с реальными значениями. При этом, когда спутниковый сигнал сталкивается с препятствиями в виде резко возросшей энергии частиц — (нейтронов и протонов) его фаза и амплитуда очень быстро изменяется. Мерцания могут сделать вычисления местоположения самолета невозможным [3].

Во время солнечных бурь и высокоинтенсивных галактических космических лучей протоны на огромной скорости достигают околоземного

пространства и проникают в атмосферу на магнитных полюсах и в радиационный пояс нашей планеты. Сталкиваясь с частицами, находящимся в радиационном поясе, они порождают вторичные и третичные высокоэнергичные элементы, которые и создают основную опасность для летных экипажей. Очевидно, что в полярных широтах и на большой высоте эффект облучения сильнее. Поток высокоэнергичных частиц опасен не только для здоровья, но и для электроники. Больше всего подвержены влиянию радиации самолеты, совершающие трансполярные перелеты.

Для авиационных пользователей информация о космической погоде поступает из глобальных консультативных центров в виде сообщений о космической погоде. Консультативные сообщения информируют о типе воздействия (HF COM, GNSS, RADIATION), о его интенсивности (MOD — умеренная или SEV — сильная), о его начале и продолжительности, а также о пространственной протяженности на ближайшие сутки. Для пространственной протяженности используются описание в виде широтных полос [1].

Исследование космической погоды как опасного для авиации явления проводилось на основе базы данных консультативных сообщений АМЦ «Пулково». Был рассмотрен период сентябрь 2020 – январь 2023 гг., всего получено 96 консультативных сообщений. Чаще всего сообщения выпускались на умеренное ухудшение высокочастотной связи HF COM MOD (34%). Реже всего выпускались сообщения о сильных ухудшениях высокочастотной связи. Это может объясняться тем, что сильные солнечные вспышки и корональные выбросы масс возникают не так часто, а также с тем, что данное явление более локальное и чаще всего появляется из-за суббурь. Кроме того, не было выпущено ни одного сообщения о повышенной радиационной опасности RADIATION MOD, SEV. Действительно, с ростом солнечной активности потоки ГКЛ и СКЛ уменьшаются, однако двадцать пятый солнечный цикл только начался и еще не достиг своего пика. Возможно, консультативные сообщения на данное явление предпочитают не выпускать, чтобы не терпеть убытки, связанные с авиаперевозками, которые могут быть из-за паники среди пассажиров авиакомпаний и летных экипажей. К тому же консультативные сообщения часто выпускались для высоких широт (40%), как наиболее уязвимым для солнечной активности из-за особенностей магнитного поля Земли и радиационного пояса [4].

Рассмотрим влияние космической погоды на ионосферу и высокочастотную связь на примере масштабной солнечной вспышки класса M1.7, произошедшей 3 ноября 2021 года. В этот день индекс геомагнитной активности Kp достиг значений 7, что соответствует уровню сильной геомагнитной бури класса G4. В результате над частью Западного и над Восточными полушариям произошло значительное нарушение коротковолновой

связи. Консультативные сообщения о космической погоде на умеренное ухудшение высокочастотной связи были выпущены 4 и 5 ноября. Как следует из консультативных сообщений, в первых трех из них неблагоприятное явление ожидалось только в полярных областях. Затем зона ухудшения высокочастотной связи сместилась только на северный полюс, а в дальнейшем и на все северное полушарие до экваториальных широт. Согласно информации, полученной по модели GAMBIT, отчетливо видно, что MUF (максимально применимая частота) снизилась примерно на 50% во время геомагнитной бури (рис.1) [4].

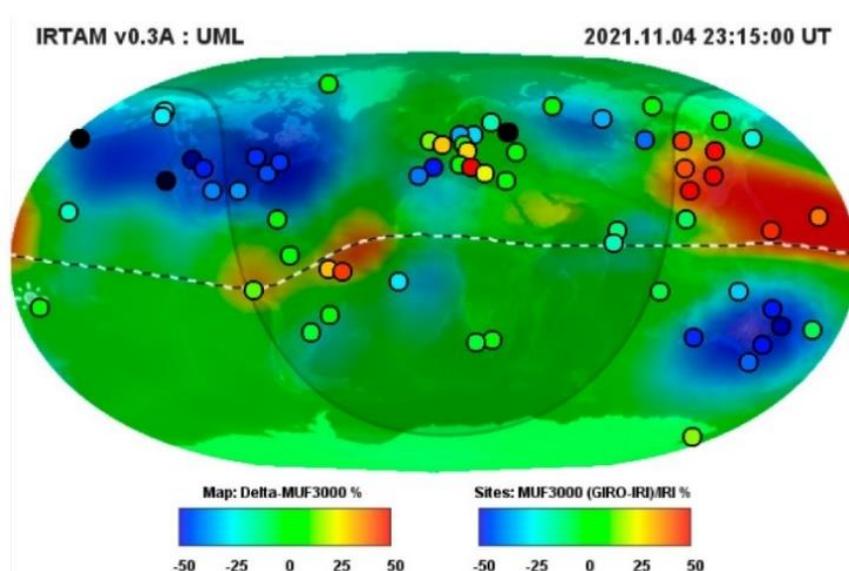


Рис. 1. Модель ионосферы от GIRO за 04.11.2021 г.

Исследования влияния космической погоды на радиационную обстановку в атмосфере Земли. проводились на основе модели от ИПГ им. Фёдорова для трех маршрутов продолжительностью 6,5 часов и расстоянием около 5800 км. Для трансполярного маршрута Анкоридж-Мурманск максимальная доза радиации при максимальной солнечной активности достигла значений 120,22 μSv ; для маршрута Казань-Хабаровск — 115,27 μSv ; для рейса Дубай-Гуанчжоу — 35,67 μSv . Это не критическая для здоровья доза радиации, однако при совершении восьми перелетов по двум первым маршрутам экипаж получит годовую предельную дозу. Для полета в экваториальных широтах доза радиации крайне мала и не считается опасной. Очевидно, что чем ближе к полярным шапкам, тем выше радиационная опасность, и чем выше эшелон полета, тем больше вероятность облучения экипажа (рис. 2) [4].

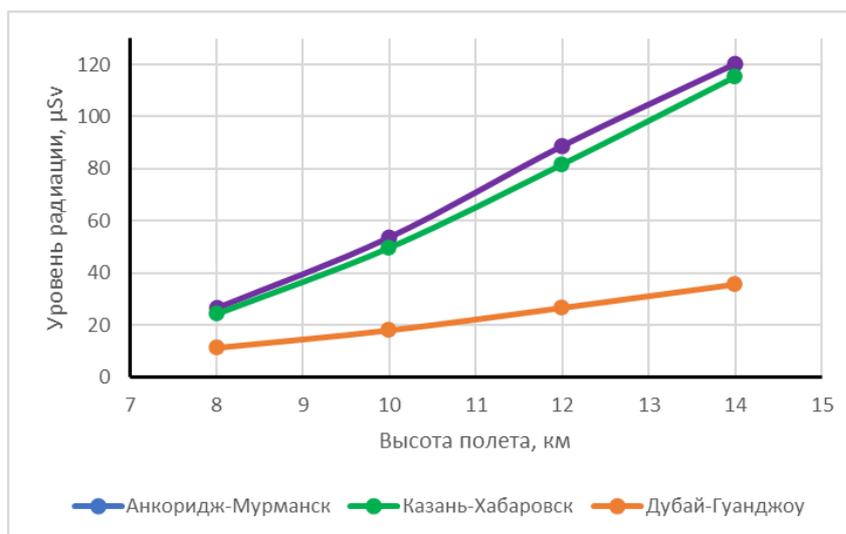


Рис. 2. Зависимость уровня радиации от высоты полета и широты

Воздействие ионосферной бури отрицательно сказывается на космической навигации и спутниковом позиционировании. 9 октября 2021 г. произошла солнечная вспышка класса M1.6. Индекс Kp достиг значения 6, что соответствует уровню сильной магнитной бури. 11—12 октября 2021 года было получено 6 консультативных сообщений. Для исследования влияния солнечной активности на спутниковую связь были использованы данные о фазовых и амплитудных скинтилляциях, взятые с приемника Septentrio PolaRx5, установленного в Апатитах, для двух глобальных навигационных систем — российской ГЛОНАСС и американской GPS [4].

На рис. 3 видно, что максимум амплитуды мощности геомагнитной бури составил 800 нТл в горизонтальной компоненте. Вертикальная компонента значительно повысилась только в промежуток между 02 и 05 UTC 12 октября. Геомагнитная буря вызвала сильные скинтилляции как для российских спутников, так и для американских. В результате σФ превысил критические значения в дневное и ночное время. Возможно, увеличение фазовой амплитуды в вечерние часы 12 октября обусловлено значительными колебаниями горизонтальной компоненты геомагнитной бури, причем реакция спутниковой связи на отрицательные показатели больше, чем при положительной [4,5].

Можно сделать вывод о том, что у фазовых скинтилляций отсутствует прямая корреляция с амплитудой возмущения геомагнитной бури. С ростом амплитуды геомагнитных пульсаций увеличиваются значения σФ. Изменения горизонтальных и вертикальных компонент ультранизких частот вызвали другие механизмы, такие как случайные высыпания авроральных частиц. Однако отметим, что наиболее сильные скинтилляции имеют прямую корреляцию по времени своего возникновения с ростом амплитуды ультранизких волн [4,5].

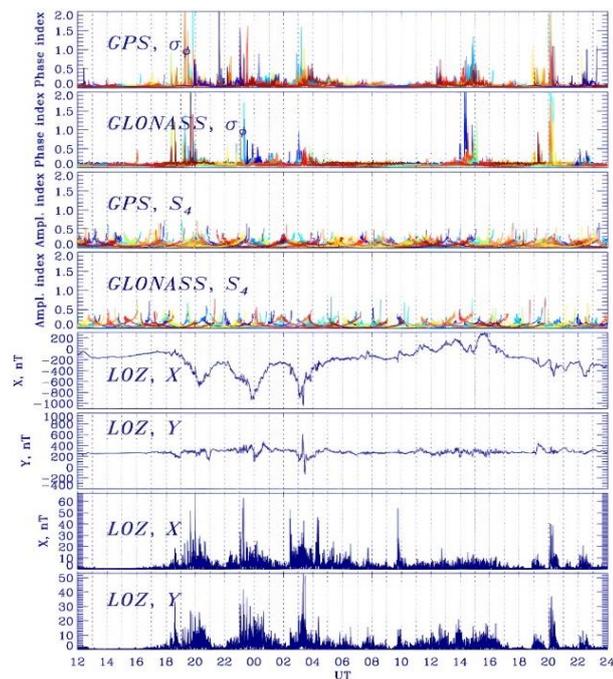


Рис. 3. Фазовые и амплитудные сцинтилляции за 11-12 октября 2021 г.

Библиографические ссылки

1. Международная организация гражданской авиации. Руководство по информации о космической погоде для обеспечения международной авионавигации. 2019. 50 с.
2. Дёминов М.Г., Осипов Ю.С. Ионосфера. Москва: Большая российская энциклопедия; 2004-2017. 350 с.
3. Бернгардт О.И. Влияние факторов космической погоды на работу радиосредств. Солнечно-земная физика. 2017. Т.3, №3. С. 40-60.
4. Соколина А.П. Волобуева О.В. Методы и средства наблюдений за космической погодой и ее влияние на полеты воздушных судов. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Иркутск. 2022. С. 409-417.
5. Демьянов В.В. Ясюкевич Ю.В. Космическая погода: факторы риска для глобальных навигационных спутниковых систем. Солнечно-земная физика. 2021. Т.7, №2. С.30-52.