

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ЕЁ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЗЕМЛИ



Как активность Солнца влияет
на Землю, технологии и космическую
погоду?



СОЛНЦЕ — НАША БЛИЖАЙШАЯ АКТИВНАЯ ЗВЕЗДА

Солнце относится к классу G2V и уже около 4,6 млрд лет остаётся источником света, тепла и магнитных явлений. Его активность наблюдают от первых заметок Галилея до современных космических миссий и наземных обсерваторий.



СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА КАК ПРИЗНАК МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

ТЕМНЕЕ ФОТОСФЕРЫ

Пятна выглядят тёмными не потому, что они холодные в абсолютном смысле, а потому, что их температура ниже окружающей фотосферы примерно на 1500–2000 К.

01

СИЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Они возникают там, где мощное магнитное поле подавляет конвекцию и тормозит перенос энергии из недр к поверхности, поэтому участок светится слабее.

02

ПОКАЗАТЕЛЬ АКТИВНОСТИ

Число Вольфа помогает оценить не только количество пятен, но и общий уровень активности Солнца: чем больше групп пятен, тем выше вероятность вспышек.

03

СВЯЗЬ С ПРОГНОЗОМ

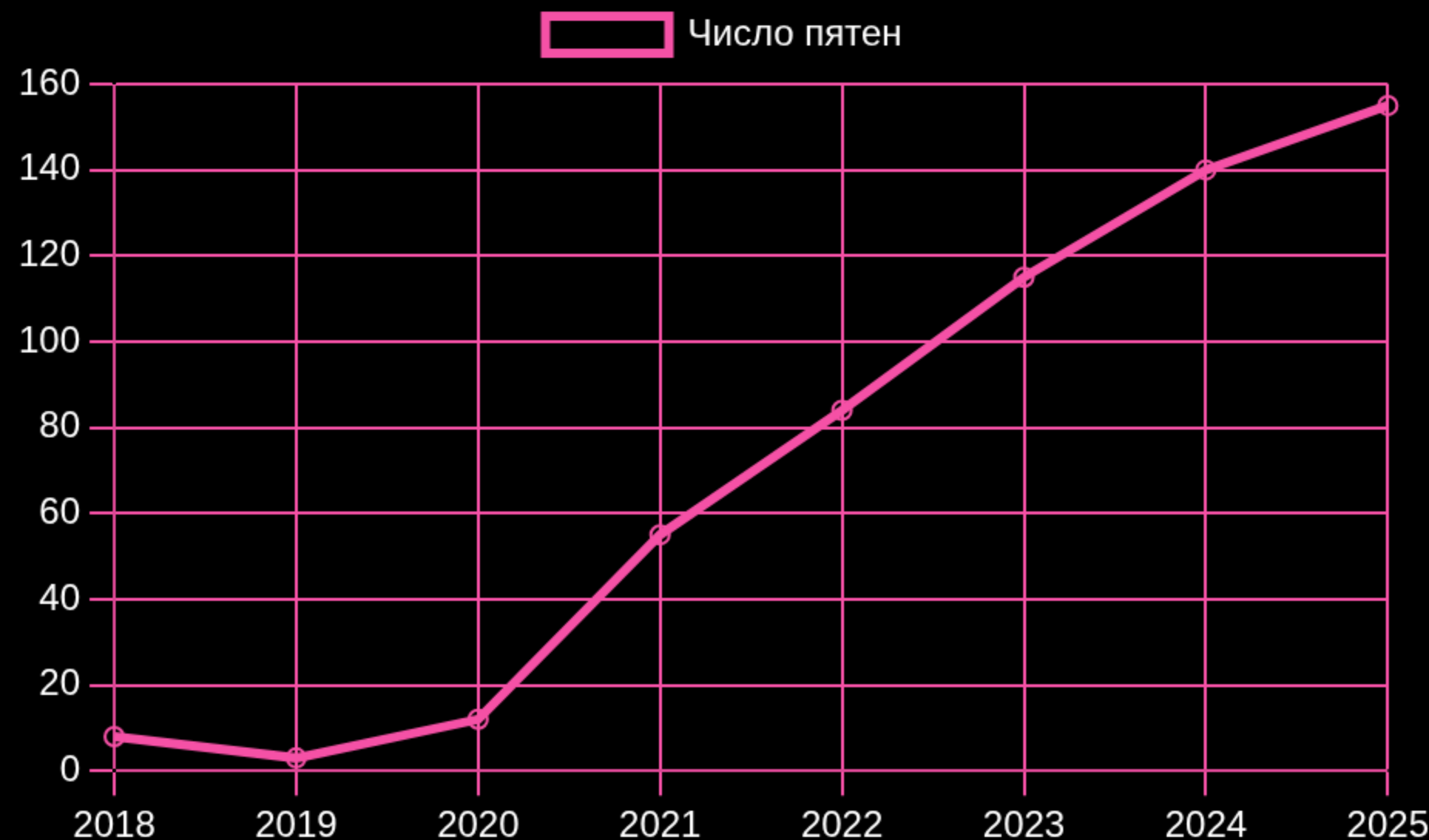
Наблюдение за пятнами важно для космической погоды, потому что крупные и сложные активные области чаще становятся источником вспышек и корональных выбросов массы.

04

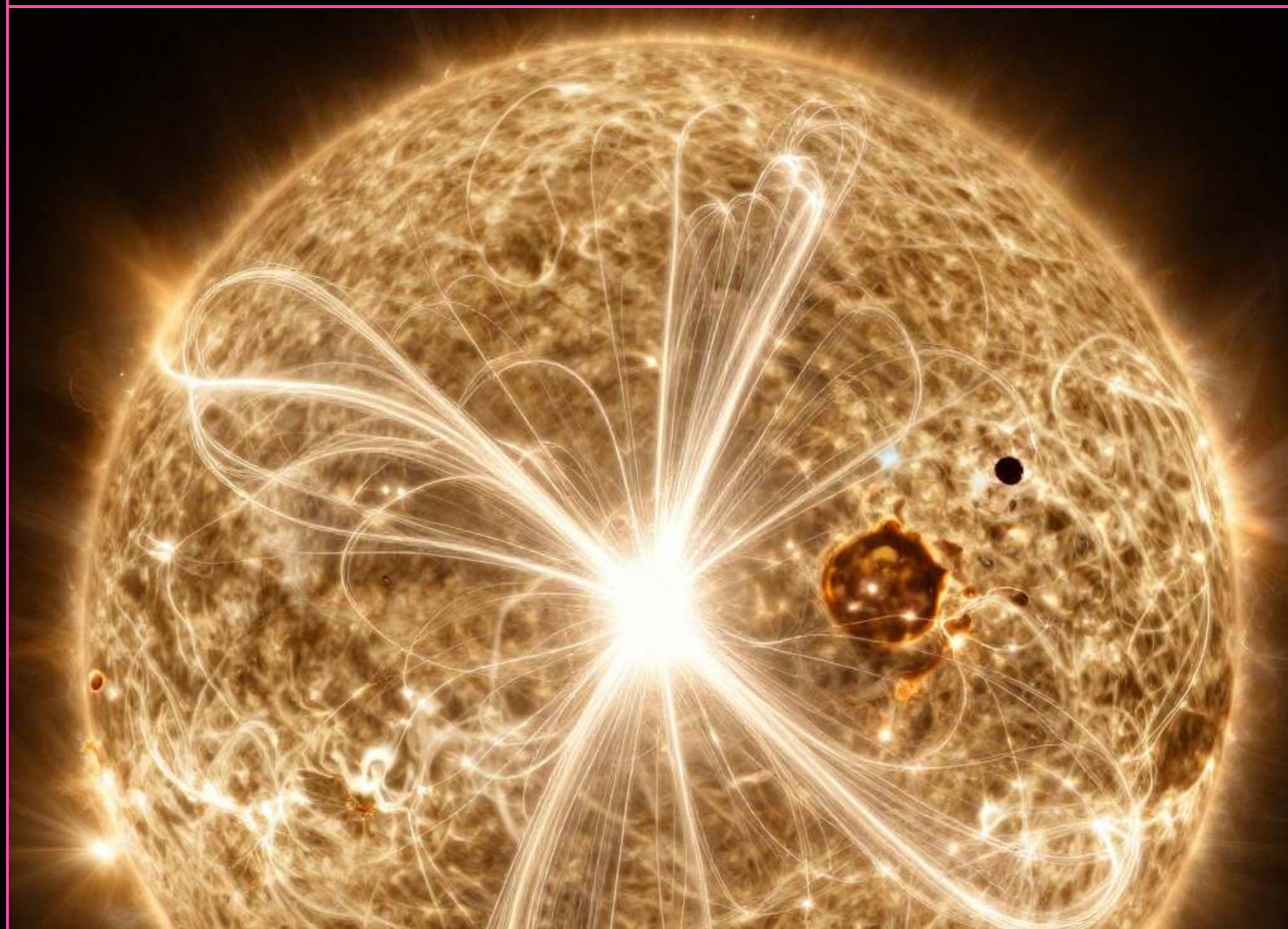
11-ЛЕТНИЙ ЦИКЛ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Минимумы и максимумы повторяются не строго по календарю: длительность и амплитуда цикла меняются, поэтому соседние циклы могут заметно отличаться.

Рост после минимума 2019–2020 годов показывает переход к более активной фазе цикла 25.



СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ: КРАТКИЙ И МОЩНЫЙ ВЫБРОС ЭНЕРГИИ



Резкий выброс энергии

Вспышка – это внезапное высвобождение энергии в атмосфере Солнца, прежде всего в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах, сопровождаемое усилением излучения и ускорением частиц.

Классы мощности

Для описания силы используют классы А, В, С, М и Х. Каждый следующий класс означает более высокую мощность, а вспышки Х-класса считаются наиболее сильными.

Почему важны активные области

Сильные вспышки чаще возникают над сложными группами пятен, где линии магнитного поля переплетаются и накапливают энергию, которая затем быстро высвобождается.

Наблюдение в УФ и рентгене

На снимках в ультрафиолетовом или рентгеновском диапазоне вспышка видна особенно отчётливо: яркие дуги и области над пятнами выделяются на фоне спокойной короны.

Связь с космической погодой

Хотя сама вспышка длится недолго, её излучение может быстро повлиять на ионосферу Земли и вызвать помехи в радиосвязи уже через минуты после события.

***СКОРОСТЬ ВЫБРОСА ОПРЕДЕЛЯЕТ, НАСКОЛЬКО
БЫСТРО ОН ДОЙДЁТ ДО ЗЕМЛИ И НАСКОЛЬКО СИЛЬНОЙ
МОЖЕТ ОКАЗАТЬСЯ ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ.***

2000 КМ/С

— такова верхняя граница типичной скорости самых быстрых корональных выбросов массы, способных быстро достигать окрестностей Земли.

NASA / NOAA SWPC

ОТ СОЛНЕЧНОГО СОБЫТИЯ К ЭФФЕКТАМ НА ЗЕМЛЕ

Схема отражает типичную цепочку влияния вспышек и корональных выбросов массы на околоземную среду.



ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Явление	Показатель	Шкала	Эффект
Пятна	Число Вольфа	0+	Уровень активности
Вспышки	Классы A–X	A–X	Рост излучения
Бури	Шкала G1–G5	G1–G5	Возмущения магнитосферы
Ветер	Скорость и плотность	км/с, частицы	Давление на Землю

Разные индексы помогают наблюдать разные проявления одного и того же магнитного процесса.

Индексы дополняют друг друга: один показывает пятна, другой – излучение, третий – воздействие на околоземное пространство.

КАК СЕГОДНЯ ИЗМЕРЯЮТ СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ



РАДИОПОТОК 10,7 СМ

Этот индекс удобно отражает общий уровень активности Солнца и используется как один из самых стабильных долгосрочных индикаторов, доступных для регулярного мониторинга.



ИНДЕКС MG II

Он показывает изменения в ультрафиолетовом излучении и помогает отслеживать состояние верхних слоёв солнечной атмосферы, особенно при смене фаз цикла.



ДАННЫЕ GOES

Рентгеновские детекторы GOES фиксируют вспышки почти в реальном времени и позволяют быстро оценивать их класс, длительность и потенциальное влияние на ионосферу.



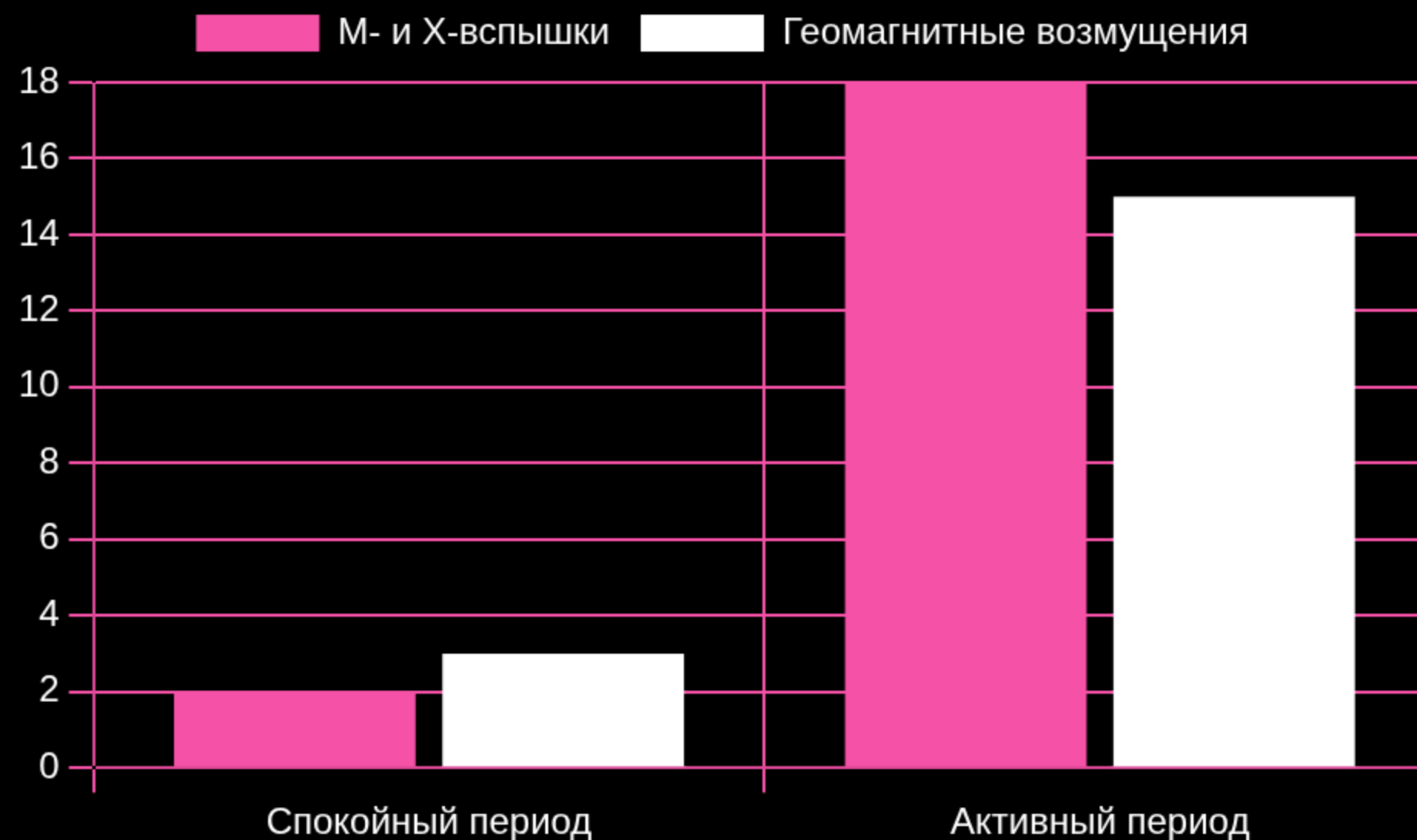
МАГНИТОГРАММЫ

Измерения магнитного поля на поверхности Солнца показывают структуру активных областей, помогают увидеть развитие пятен и дают основу для краткосрочного прогноза.

СВЯЗЬ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

При росте солнечной активности усиливается не только излучение, но и вероятность воздействия на спутники, радиосвязь и навигационные системы.

В активные периоды заметно возрастает число вспышек и геомагнитных возмущений, поэтому прогноз космической погоды становится особенно важным.



ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ: КОГДА СОЛНЦЕ РИСУЕТ СВЕТ В НЕБЕ



Зелёные дуги над северным горизонтом

После прихода частиц солнечного ветра верхняя атмосфера Земли начинает светиться. Чаще всего видны зелёные дуги и занавесы: так излучает возбуждённый кислород на высотах, где воздух уже очень разрежен, а движение света подчёркивает ритм магнитного поля.



Красные отблески на большой высоте

Иногда сияние становится не только зелёным, но и красным. Такой цвет тоже связан с кислородом, однако возникает выше, где столкновения редки и свечение длится дольше, создавая над горизонтом тонкую, почти прозрачную световую вуаль.



Сияние, дошедшее до необычных широт

Во время сильной геомагнитной бури полярное сияние может сместиться далеко от полюсов. Тогда его замечают там, где обычно небо остаётся спокойным, и яркие полосы становятся видимым следом мощного солнечного события у Земли.

КАК СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ ВЛИЯЕТ НА ТЕХНОЛОГИИ

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Сильные бури могут наводить токи в длинных линиях электропередачи и трансформаторах. Именно так возможны аварийные отключения, как это произошло в Квебеке в 1989 году.

04

РАДИОСВЯЗЬ

Вспышки усиливают рентгеновское излучение, ионизирующее верхние слои атмосферы. Из-за этого коротковолновая радиосвязь может ослабевать или полностью пропадать на отдельных участках связи, особенно при резком росте активности.

01

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

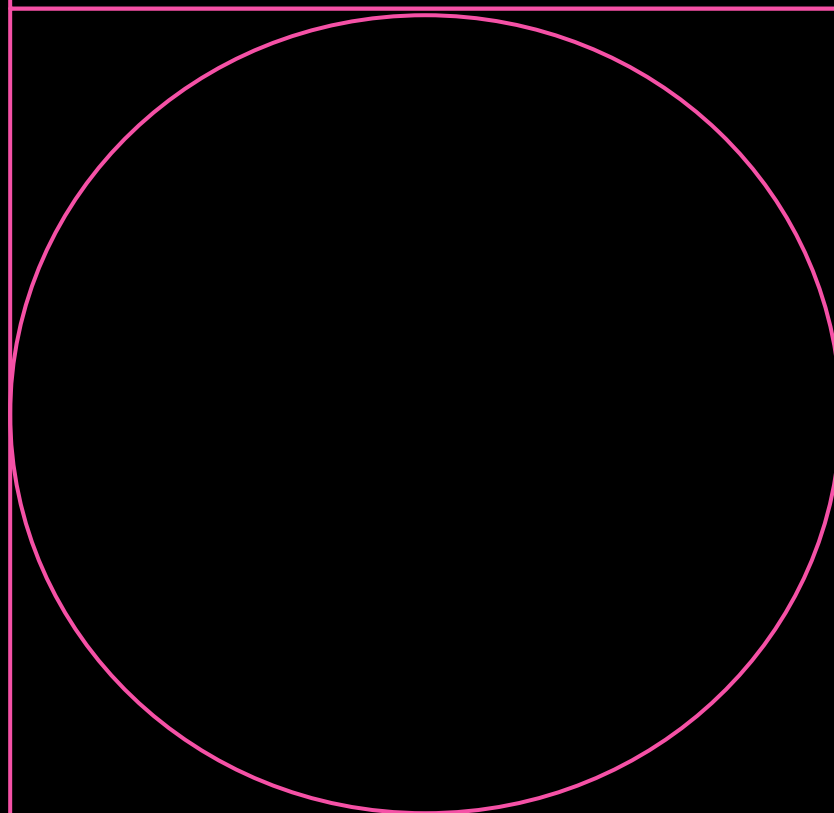
Возмущения в ионосфере меняют путь радиосигналов, поэтому точность GPS и ГЛОНАСС снижается. Ошибки особенно заметны при быстрых изменениях состояния атмосферы и во время сильных геомагнитных бурь.

02

СПУТНИКИ НА НИЗКОЙ ОРБИТЕ

Во время возмущений верхняя атмосфера расширяется, и сопротивление для низкоорбитальных спутников возрастает. Аппараты быстрее теряют высоту, а расчёты орбит и коррекций приходится выполнять чаще.

03



ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ СИЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

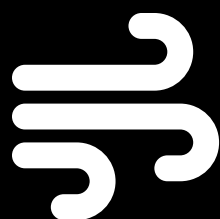
Эти события показывают, что редкие геомагнитные бури способны затронуть связь, энергетику и спутниковую инфраструктуру.

Даже редкие сильные бури способны вызывать ощутимые потери, поэтому наблюдение Солнца важно не только для науки, но и для защиты инфраструктуры.

Событие	Год	Последствия	Значение
Каррингтон	1859	Сияния, телеграф	Показало масштаб бурь
Квебекская буря	1989	Отключение энергии	Уязвимость сетей
События 2003 года	2003	Сбои спутников	Риск для техники

Исторические данные о крупнейших солнечно-земных возмущениях; общеизвестные научные сводки

КАК СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР ВСТРЕЧАЕТ МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ



ПОТОК ЧАСТИЦ

Солнечный ветер состоит главным образом из протонов, электронов и альфа-частиц. Это непрерывный поток, который переносит энергию от Солнца к Земле и формирует условия космической погоды.



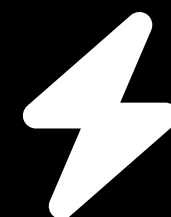
ЗАЩИТНЫЙ БАРЬЕР

Магнитосфера отклоняет большую часть заряженных частиц и не допускает их прямого попадания в атмосферу. Благодаря этому Земля защищена от постоянного потока солнечной плазмы.



СКОРОСТЬ ПОТОКА

В среднем солнечный ветер движется примерно со скоростью 400 км/с. При корональных дырах и особенно при корональных выбросах массы его параметры резко возрастают, усиливая воздействие на околоземное пространство.

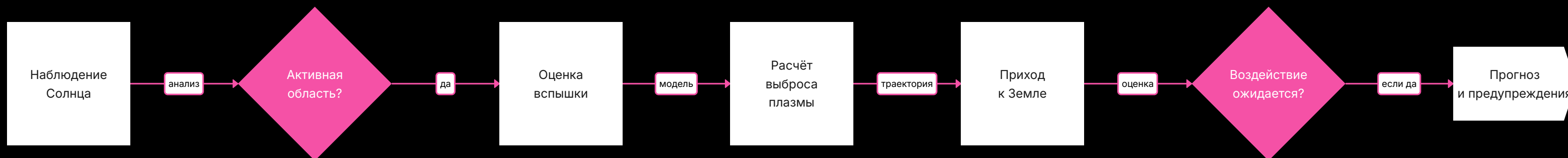


ОСЛАБЛЕНИЕ ЗАЩИТЫ

Во время сильных бурь магнитосфера сжимается и становится менее эффективной. Тогда частицы легче проникают в верхние слои атмосферы, вызывая сияния и геомагнитные возмущения.

КАК ПРОГНОЗИРУЮТ КОСМИЧЕСКУЮ ПОГОДУ

Последовательность наблюдений и расчётов помогает заранее оценить риск для спутников, связи и энергосистем.



СОЛНЦЕ И КЛИМАТ: ЧТО ВЛИЯЕТ, А ЧТО НЕТ



СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ МЕНЯЕТСЯ МАЛО

Средняя солнечная постоянная близка к 1361 Вт/м^2 , но её колебания невелики. Поэтому они не объясняют современное глобальное потепление, хотя и остаются важным параметром для оценки потока энергии, поступающего к Земле.



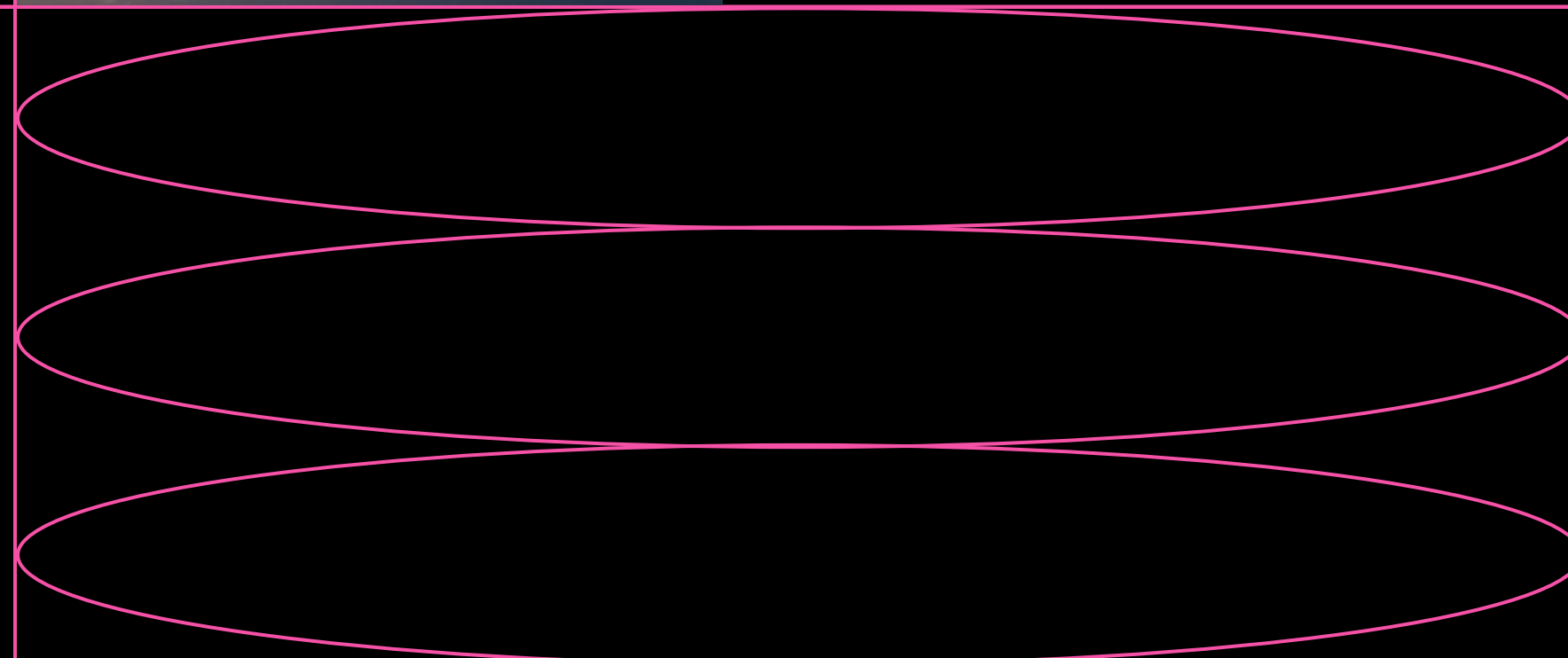
ВЕРХНЯЯ АТМОСФЕРА РЕАГИРУЕТ СИЛЬНЕЕ

Изменения солнечной активности заметнее всего отражаются в верхней атмосфере, ионосфере и озоновом слое. Здесь они меняют условия распространения радиоволн и химические процессы, но почти не определяют приземную температуру напрямую.



КЛИМАТ СКЛАДЫВАЕТСЯ ИЗ МНОГИХ ФАКТОРОВ

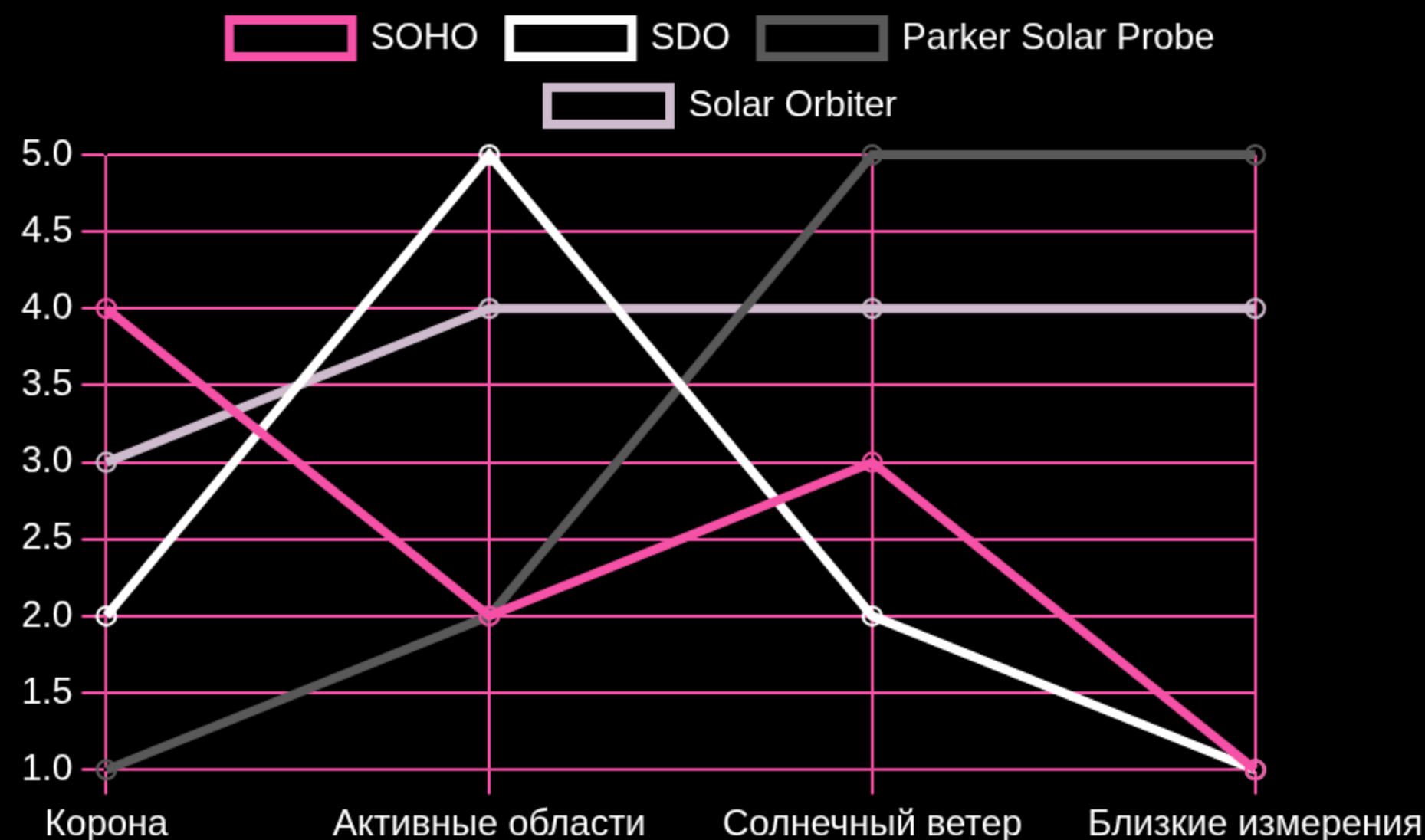
Чтобы понять климат, недостаточно смотреть только на Солнце. Нужны данные о составе атмосферы, парниковых газах, океанических течениях и естественных колебаниях, которые вместе формируют долгосрочную картину изменений.



КОСМИЧЕСКИЕ МИССИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОЛНЦА

Эти миссии дополняют друг друга: одни наблюдают Солнце издалека, другие измеряют плазму почти у самой звезды.

Чем ближе аппарат к Солнцу и чем разнообразнее наблюдения, тем точнее можно восстановить причины солнечной активности.



Почему солнечная активность опасна для человека в космосе



Жёсткое излучение

Во время мощных вспышек возрастает поток рентгеновского и ультрафиолетового излучения. Для экипажей вне магнитной защиты Земли это означает более высокую дозу радиации за короткое время.

Высокоэнергичные частицы

Солнечные частицы могут проникать через защитные слои корабля и скафандров. Особенно уязвимы космонавты во время выхода в открытый космос и длительных межпланетных перелётов.

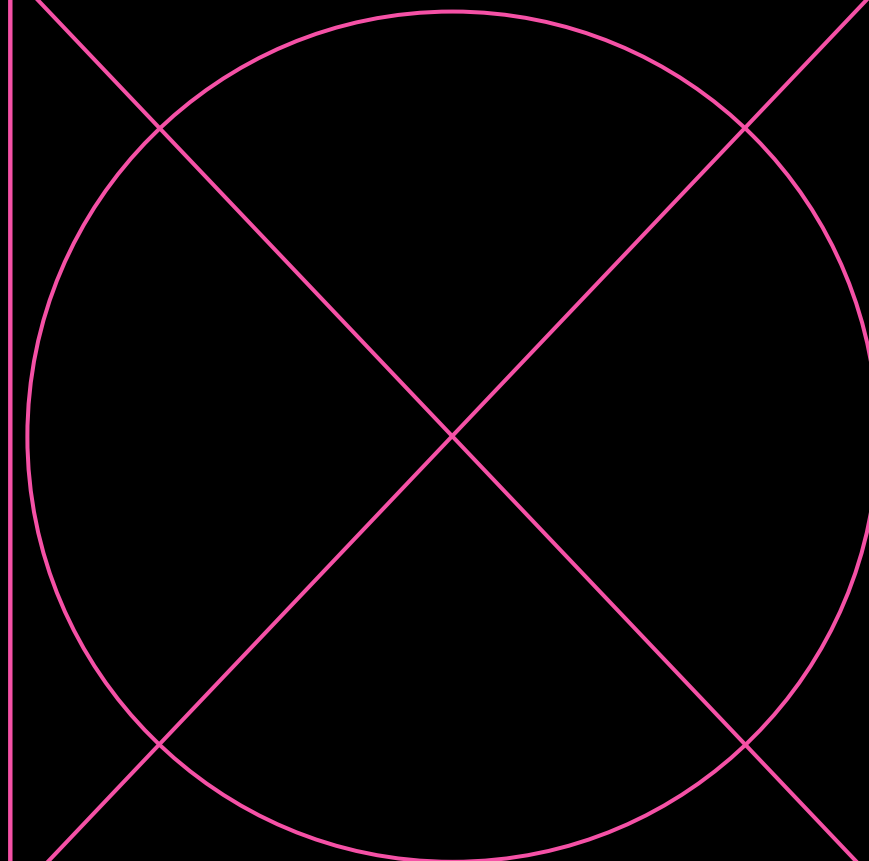
Авиационные маршруты

На высокоширотных трассах радиационная нагрузка может быть выше обычной, а связь – менее устойчивой. Поэтому при сильных событиях рейсы иногда корректируют по маршруту или времени полёта.

Подготовка миссий

Перед запуском оценивают радиационные риски и предусматривают укрытия от излучения. Это помогает снизить опасность для экипажа и сохранить работоспособность оборудования в критические моменты.

КАК ШКОЛЬНЫЕ И НАУЧНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ РАСКРЫВАЮТ СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ



Первые наблюдения

Сначала используют телескопы и фиксируют солнечные пятна. Простое сравнение их количества по датам уже помогает заметить, что активность Солнца меняется не случайно.

01

Поток данных

Затем подключают спутники и радионаблюдения. Они дают почти непрерывные сведения о вспышках, пятнах и состоянии магнитного поля, доступные для анализа почти в реальном времени.

02

Сопоставление с космической погодой

Учёные сравнивают солнечные наблюдения с сообщениями о геомагнитных бурях, радиосбоях и возмущениях ионосферы. Так выявляют связи между событиями на Солнце и эффектами у Земли.

03

Модели и прогноз

На завершающем этапе данные вводят в математические модели. Они помогают объяснять циклы активности и делать прогнозы, полезные как для науки, так и для повседневной техники.

04

СОЛНЦЕ КАК ИСТОЧНИК РИСКА И ЗНАНИЙ



Солнечная активность объединяет физику звезды, наблюдения и реальные последствия на Земле. Понимая её циклы и всплески, мы лучше защищаем технологии, людей и научные миссии.