

Черногор Л. Ф.
доктор физ.-мат. наук, профессор, Заслуженный профессор ХНУ имени В.Н. Каразина, академик, дважды лауреат Премии СМ СССР, лауреат Государственной премии УССР в области науки и техники

Часть 1

*Невозмутимый строй во всем,
Созвучье полное в природе, —
Лишь в нашей призрачной свободе
Разлад мы с нею создаем.*

Откуда, как разлад возник?

Ф. Тютчев

ПОГОДА И КОСМОС

ВВЕДЕНИЕ

Еще на заре цивилизации первобытные люди догадались, что Солнце — источник жизни на Земле. Солнце давало им пищу, тепло, регулировало их жизнь. Солнце обожествляли, ему поклонялись, ему приносили жертвы. У всех народов Солнце было главным богом.

Потребовалось около 1 млн лет, чтобы на смену обожествления Солнца пришли научные представления об истинной роли Солнца, о механизмах воздействия светила на биосферу и организм человека.

До последнего времени биосфера чаще всего рассматривалась либо обособленно, либо в качестве подсистемы в системе океан — суша — атмосфера (ОСА). Система ОСА, как известно, в основном формирует состояние атмосферной погоды.

Атмосферная погода — физическое состояние системы ОСА в каждом месте в каждом интервале времени.

Климат — усредненное на достаточно большом временном интервале (например, десятки лет) состояние погоды.

Естественно, что процессы в системе ОСА, как и вариации атмосферной погоды, влияют на биосферу и человека в частности.

Известно, что биосфера — объект не только земной, но и космический в том смысле, что она испытывает на себе влияние космических факторов — гравитации, процессов на Солнце, метеоров, потоков галактических лучей и т.д. Иначе говоря, биосфера в качестве подсистемы входит в систему Космос — Земля.

Космические факторы формируют состояние космической погоды.

Космическая погода — физическое состояние геокосмоса (т.е. верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы) в каждом месте в каждом интервале времени.

Международным сообществом принято следующее определение: *космическая погода* — это физическое и феноменологическое состояние природного космического окружения.

Космический климат — усредненное на достаточно большом временном интервале (например, десять циклов солнечной активности, около 110 лет) состояние космической погоды.

Целью исследования космической погоды и космического климата является понимание и предвидение состояния Солнца или других внешних источников с помощью наблюдений, мониторинга, анализа и моделирования, а также определение фактического состояния и прогнозирования возможного влияния на биологические и технические системы.

В последнее время появились основания утверждать, что обе погодные системы связаны между собой. Это означает, что на биосферу совместно (синергетически) воздействуют вариации как атмосферной, так и космической погоды.

Каналы воздействия системы ОСА на биосферу изучены недостаточно, хотя сам факт воздействия (в частности, метеочувствительность человека) известен давно. Еще хуже дело обстоит со знанием механизмов влияния вариаций космической погоды на биосферу (человека). Факт же воздействия этих вариаций обсуждается с XIX века.

Высказывания о влиянии космоса на биосферу встречаются, например, в работах В.И. Вернадского — создателя учений о биосфере и ноосфере.

Опираясь на результаты исследований своих предшественников, А.Л. Чижевский — основоположник гелиобиологии — впервые научно обосновал гипотезу о том, что значительное число солнечных и земных процессов — синхронны. Он был убежден в том, что «жизнь должна считаться явлением космическим, работой космических сил». В монографии «Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца», изданной в 1930 г.,

он писал: «Еще в глубокой древности было замечено, что выпадают эпохи, когда ничто не нарушает мирного течения жизни, чему способствует не только человек, но и сама природа. Но бывают времена, когда и мир природы, и мир человеческий приходят в волнение: стихийные катастрофы, наводнения или засухи, землетрясения или извержения вулканов, массовые налеты вредных насекомых, повальные болезни среди животных и людей, войны и междоусобицы потрясают целые страны. В такие времена пытливого взору наблюдателя представляется несомненным существование связи между организмом и окружающей его средой. Эта мысль о связи живых организмов и внешней природы проходит красной нитью по всему огромному историческому опыту человечества».

Создавая свое учение, А.П. Чижевский основывался на многих известных к тому времени фактах связи солнечной активности с частотой магнитных бурь (Ламонт, 1850 г.), частотой полярных сияний (Фритц, 1863 г.), частотой гроз (Зенгер, 1887 г.), температурой воздуха и воды (Гаутьер, 1844 г.), частотой бурь, ураганов, смерчей и количеством осадков (Мелдрун, 1872 г.), землетрясениями (Малле, 1858 г.), количеством вырабатываемого вина (Сарториус, 1878 г.), толщиной годовых колец деревьев (Шведов, 1892 г.), размножением и миграцией насекомых (Кеппеи, 1870 г.), величиной улова рыб (Нансен, 1909 г.), частотой внезапных смертей (Киндлимманн, 1910 г.) и другими явлениями. Многие интересные процессы, иллюстрирующие учение А.П. Чижевского, описаны в его замечательной книге «Земное эхо солнечных бурь».

А.П. Чижевский был убежден в следующем:

*Мы дети Космоса. И наш родимый дом
Так спаян общностью и неразрывно прочен,
Что чувствуем себя мы слитыми в одном,
Что в каждой точке мир — весь мир сосредоточен.*

*И жизнь — повсюду жизнь в материи самой,
В глубинах вещества от края и до края
Торжественно течет в борьбе с великой тьмой,
Страдает и горит, нигде не умолкая.*

Во второй половине XX века учение А.П. Чижевского получило существенное развитие. Стало ясно, что на земные процессы могут значительно влиять вспышка сверхновой звезды в окрестности Солнечной системы, падение крупного метеорита и астероида, столкновение с кометой, прохождение Солнечной системы через галактическое облако молекулярного водорода и другие факторы. Благодаря этому гелиобиология по существу превратилась в космическую биологию.

Возможные влияния вариаций атмосферной и космической погоды, воздействие физических полей на биосферу изучались многими специалистами. Установлено, что указанные вариации существенно влияют на поведение биосферы, самочувствие и здоровье человека и, по-видимому, на социальные процессы. Из-за сложности процессов, многофакторности и синергичности воздействий в системе Космос — Земля сами каналы влияния вариаций атмосферной и космической погоды изучены недостаточно.

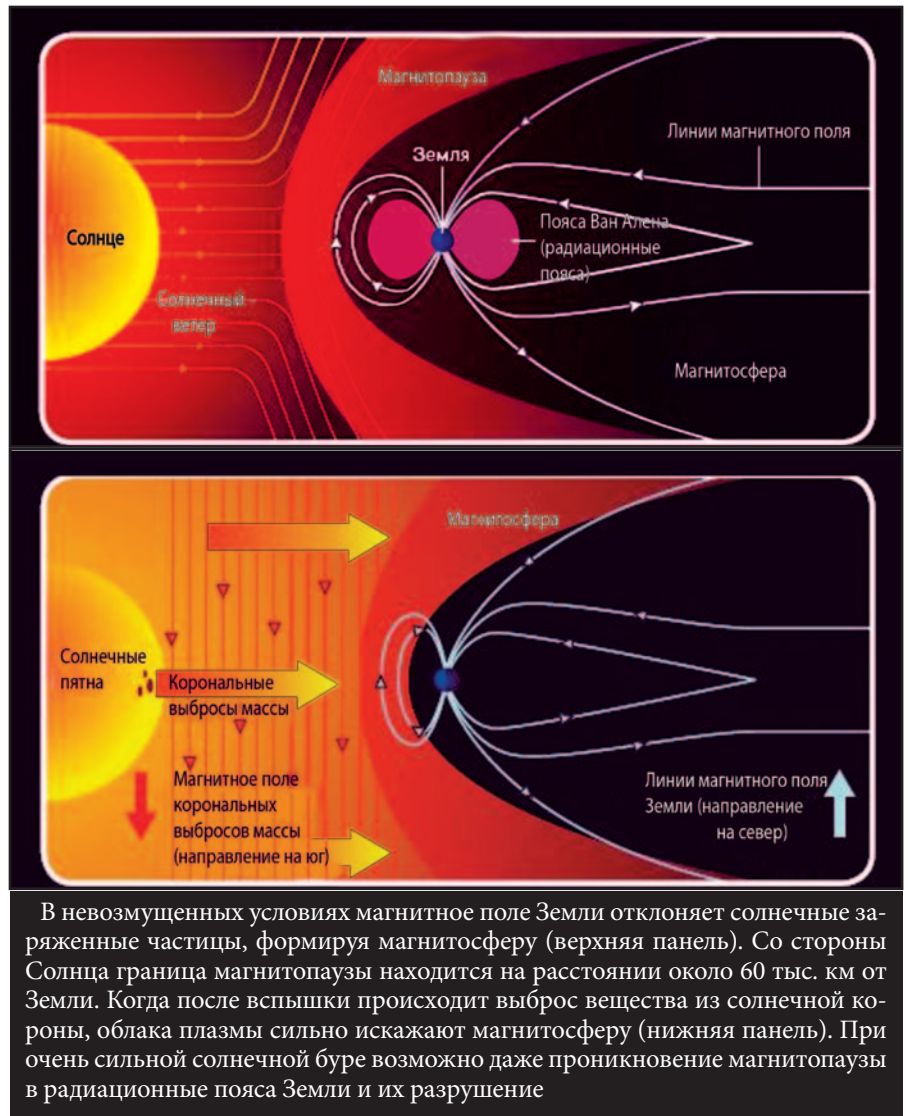
В работах, посвященных этой тематике, отсутствовал системный взгляд на изучаемую проблему. Для выявления механизмов и каналов воздействия вариаций атмосферной и космической погоды необходим системный подход к системе Космос — Земля в целом, к системе Солнце — межпланетная среда — магнитосфера — ионосфера — атмосфера — Земля (Солнце — МСМИА — Земля) и, в частности, включение в эту систему биосферы и человека в качестве подсистемы.

Ниже изложены основы системного подхода к системе Солнце — МСМИА — Земля — биосфера, обсуждаются причины вариаций космической и атмосферной погоды, а также каналов воздействия этих вариаций на биосферу (человека).

ПРИМЕРЫ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Приведем несколько примеров, свидетельствующих об «уязвимости» современной цивилизации к процессам, сопутствующим геокосмическим бурям. Геокосмическая буря (ГБ) — термин, введенный автором на рубеже 1980-1990-х гг. для обозначения синергетически взаимодействующих бурь в магнитном поле, ионосфере, атмосфере и электрическом поле магнитосферно-ионосферно-атмосферного происхождения.

1. 24 марта 1940 г. сильнейшая ГБ стала причиной выхода из строя примерно 80% всех магистральных телефонных сетей в Миннеаполисе (штат Миннесота, США), нарушения электроснабжения целых районов в штатах Новая Англия, Нью-Йорк, Миннесота, Пенсильвания, Квебек и Онтарио.



2. 9-10 февраля 1958 г. ГБ вызвала нарушения работы телеграфной сети, сделала проблематичной трансатлантическую кабельную связь между Ньюфаундлендом и Шотландией, прервалась связь в Торонто (Канада).

3. 4 августа 1972 г. крайне сильная ГБ вызвала прекращение связи по кабелю между городами Пано и Каскад (США). Также вышел из строя мощный трансформатор на гидроэлектростанции в штате Британская Колумбия (США).

4. Сильная ГБ привела к непредвиденно быстрому торможению в атмосфере и падению 11 июля 1979 г. космической лаборатории Skylab (США).

5. 13-14 марта 1989 г. сильнейшая ГБ стала причиной выхода из строя системы электроснабжения в Квебеке (Канада) мощностью в 20 ГВт. Электроэнергии лишились около 3 млн человек. Прервалась связь в дециметровом диапазоне радиоволн. В метровом диапазоне, напротив, резко увеличилась дальность распространения радиоволн, что существенно ухудшило помеховую обстановку. Орбита ряда ИСЗ уменьшилась на 3...7 км.

6. В течение ГБ, имевшей место в конце октября — начале ноября 2003 г., произошли аварии в энергосистеме г. Мальмо (Швеция), в штатах Нью-Йорк и Висконсин (США), нарушение функционирования систем телекоммуникаций и GPS-навигации, выход из строя многих ИСЗ разных стран (потеря связи, выход из строя телеметрии, отключение компьютеров и т. п.).



Рис. 1. Строение системы, формирующей вариации атмосферной и космической погоды

Из приведенных примеров видно, что ГБ — источник технологических катастроф.

ОСНОВЫ СИСТЕМНОЙ ПАРАДИГМЫ

Как известно, парадигма — совокупность исходных положений данной науки. Элементы системного подхода к системе *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* разрабатывались многими специалистами из различных областей науки. Определенный итог подведен в целом ряде работ автора.

Основные положения системной парадигмы сформулированы нами в 1980-х гг. Они сводятся к следующему.

1. Вариации атмосферной и космической погоды могут быть адекватно описаны в

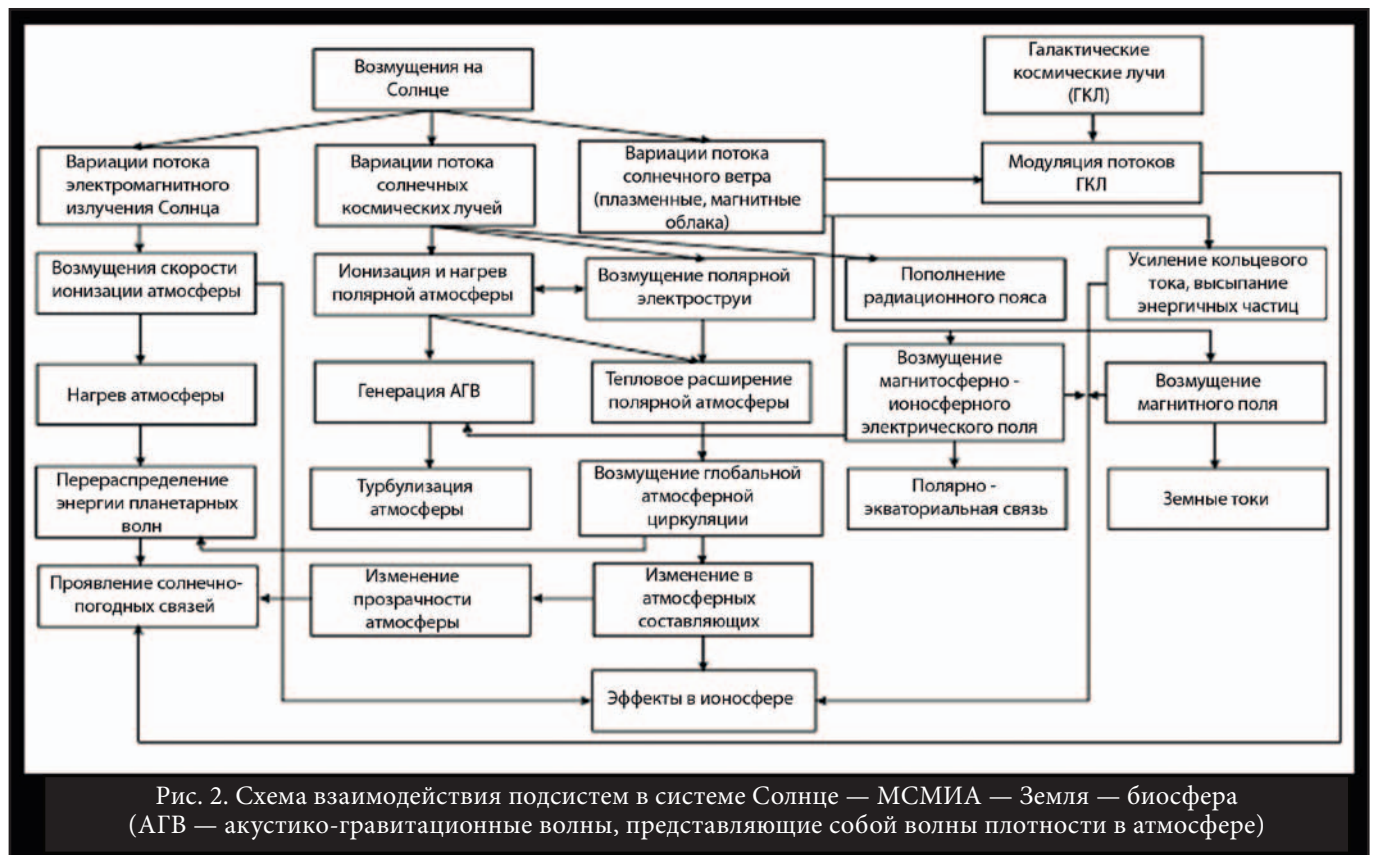


Рис. 2. Схема взаимодействия подсистем в системе Солнце — МСМИА — Земля — биосфера (АГВ — акустико-гравитационные волны, представляющие собой волны плотности в атмосфере)

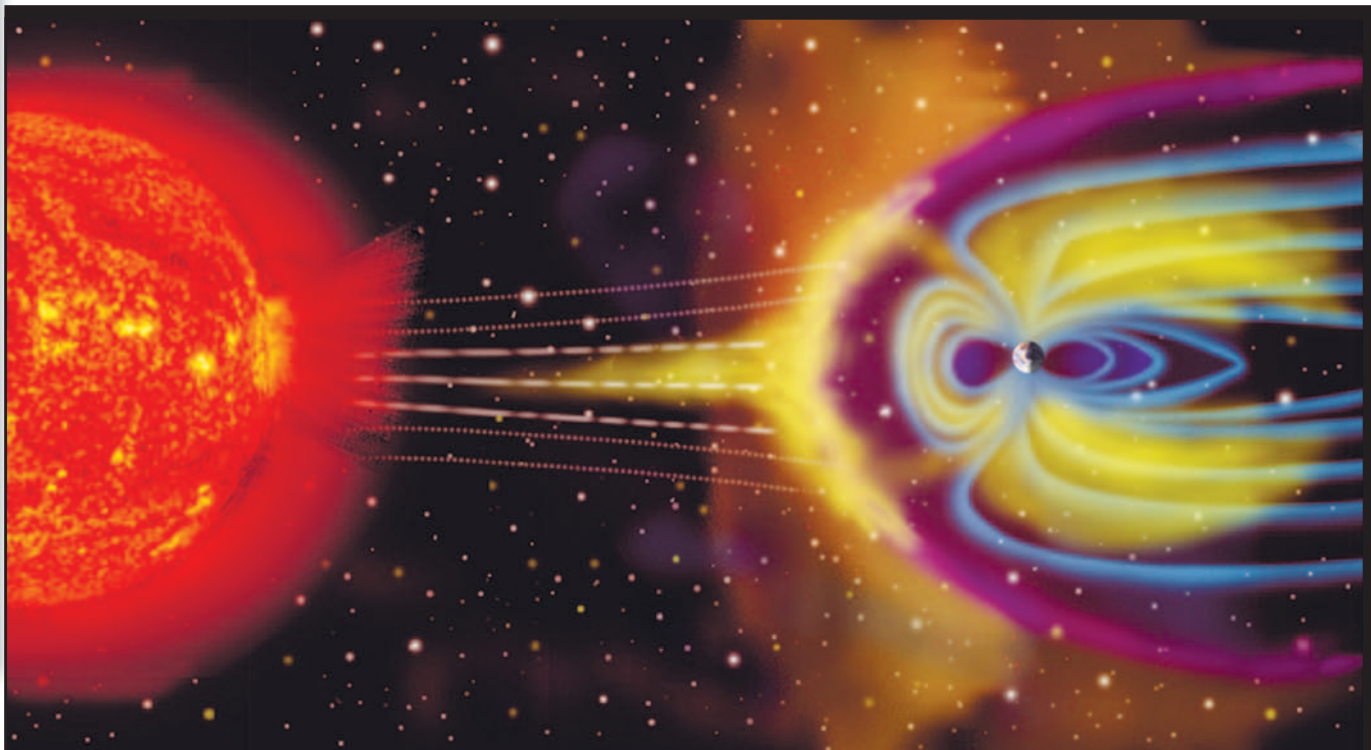


Схема воздействия солнечных бурь на Землю

Таблица 1. Параметры естественных процессов

Источник	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность воздействия, с	Примечание
Оптическое излучение Солнца	10^{22}	10^{17}	10^5	В течение суток
Солнечный ветер	10^{17}	10^{12}	10^5	То же
Метеорит	$10^{12} - 10^{15}$	$10^{12} - 10^{15}$	1	Воздействие на атмосферу
Астероид	$10^{21} - 10^{30}$	$10^{21} - 10^{30}$	$10^{-2} - 1$	Удар о Землю
Тунгусский феномен	10^{16}	$10^{15} - 10^{16}$	1 - 10	Взрыв в атмосфере
Молния	$10^{10} - 10^{12}$	$10^{10} - 10^{12}$	1	-
Глобальные ветры	10^{20}	10^{15}	10^5	В течение суток
Циклон	$10^{19} - 10^{21}$	$2 \cdot 10^{13} - 2 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^5$	-
Ураган	$10^{18} - 10^{20}$	$10^{13} - 10^{15}$	10^5	В течение суток
Торнадо	$10^{11} - 10^{13}$	$10^8 - 10^{10}$	10^3	-
Вулкан	$10^{20} - 10^{21}$	$10^{15} - 10^{19}$	$10^2 - 10^5$	-
Землетрясение	$10^{19} - 10^{21}$	$10^{17} - 10^{18}$	$10^2 - 10^3$	-
Цунами	$10^{18} - 10^{20}$	$10^{16} - 10^{19}$	$10 - 10^2$	-
Лесной пожар	$10^{18} - 10^{19}$	$10^{12} - 10^{14}$	$10^5 - 10^6$	Площадь 1000 x 1000 км ²
Поток тепла из недр Земли	$3 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{13}$	10^5	В течение суток
Биосфера	10^{19}	10^{14}	10^5	Химическая энергия в течение суток
Человек	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^2$	10^5	То же

рамках системного подхода. Объектом исследования служит система *Солнце — МСМИА — Земля*.

2. Система *Солнце — МСМИА — Земля* обладает свойствами иерархии (многоуровневостью). В систему в качестве подсистемы входит биосфера (человек), образуя систему *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера*.

3. Между подсистемами системы *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* имеют место прямые и обратные, положительные и отрицательные связи, порождая большое разнообразие процессов и явлений.

4. *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* — открытая система. В нее поступают излучение, вещество, энергия и энтропия как «сверху», так и «снизу». (Как известно, энтропия — мера неупорядоченности, хаоса.)

5. *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* — динамическая система, эволюционирующая во времени.

6. *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* — нелинейная система. Таким системам присущи совершенно нетривиальные свойства.

7. В системе *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* возможны усложнение, самоорганизация и саморазвитие за счет использования внешних источников энергии, излучения, массы и т. д.

Открытые динамические нелинейные системы, находящиеся в метастабильном (не вполне устойчивом) состоянии, сверхчувствительны к воздействию сла-

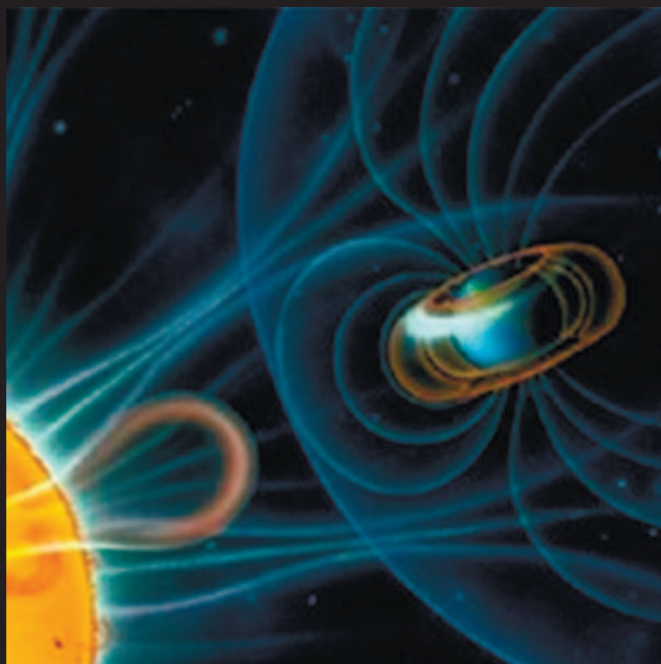
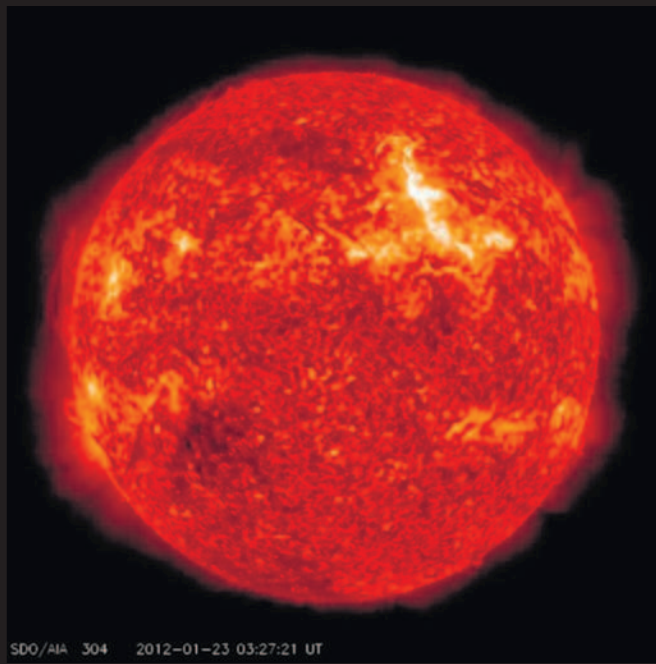


Схема воздействия солнечных бурь на Землю



SDO/AIA 304 2012-01-23 03:27:21 UT

Вспышка на Солнце. Яркие пятна указывают на участки поверхности Солнца, где формируется вспышка

бых внешних возмущений и флуктуаций. В подобных системах возможны неустойчивости, бифуркации (многовариантность эволюции), самоорганизация, перемежаемость квазидетерминированных и хаотических режимов, триггерные процессы и т. п.

Схематическое строение системы, формирующей вариации атмосферной и космической погоды, показано на рис. 1.

ПРИЧИНЫ ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Вариации космической погоды в основном формируются нестационарными процессами на Солнце, в меньшей степени потоками галактических лучей, метеоров, падениями крупных космических тел, а также мощными земными, атмосферными, океаническими и антропогенными процессами.

Рассмотрим и сравним энергетику естественных (табл. 1) и антропогенных (табл. 2) процессов. Из таблиц видно, что энергии и мощности ряда естественных и антропогенных процессов могут быть сопоставимы. Это означает, что антропогенные процессы могут давать заметный вклад в формирование вариаций атмосферной и космической погоды, а отчасти и климата.

Рассмотрим и сравним потоки энергии «сверху» (табл. 3) и «снизу» (табл. 4). Как и следовало ожидать,

Таблица 2. Параметры антропогенных источников

Источник	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность воздействия, с	Примечание
Ядерный взрыв: одиночный всех боеприпасов противоастероидный	$4 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{24}$	10^{-7}	Эквивалент 100 Мт
	$4 \cdot 10^{19}$	$4 \cdot 10^{15} - 4 \cdot 10^{16}$	$10^3 - 10^4$	Глобальный ядерный конфликт
	$4 \cdot 10^{21}$	$4 \cdot 10^{28}$	10^{-7}	Воздействие на атмосферу
Промышленный взрыв	$10^{11} - 10^{12}$	$10^{14} - 10^{15}$	10^{-3}	Масса заряда 25–250 т
Авария на АЭС	10^{18}	$10^{13} - 10^{14}$	$10^4 - 10^5$	Масса топлива 100 т
Взрыв крупной ракеты	$10^{11} - 10^{14}$	$10^{10} - 10^{15}$	0,1– 10	Масса топлива 1000 т
Стартующая ракета: крупная перспективная	10^{14}	$10^{11} - 10^{12}$	$10^2 - 10^3$	То же
	$10^{18} - 10^{20}$	$10^{13} - 10^{15}$	10^5	Масса топлива $10^4 - 10^5$ т
Корректирующий двигатель в космосе	$10^8 - 10^{10}$	$10^7 - 10^8$	$10 - 10^2$	-
Ядерная энергосистема космического аппарата	10^{14}	10^9	10^5	В течение суток
Падение космического аппарата: крупного перспективного	$10^{12} - 10^{13}$	$10^9 - 10^{11}$	$10^2 - 10^3$	Масса: 100 т
	$10^{14} - 10^{15}$	$10^{11} - 10^{13}$	$10^2 - 10^3$	$10^3 - 10^4$ т
ЛЭП	10^{15}	10^{10}	10^5	В течение суток
Излучение радиосистем	10^{12}	10^7	10^5	То же
Метеотрон	$10^{12} - 10^{15}$	$10^9 - 10^{10}$	$10^3 - 10^5$	-
Электростанция	$10^{14} - 10^{15}$	$10^9 - 10^{10}$	10^5	В течение суток
Электростанции мира	$2 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{12}$	10^5	То же
Мировое энергопотребление	$2 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{13}$	10^5	То же



Челябинский метеорит. 15 февраля 2013 г.

потоки энергии в виде оптического излучения Солнца являются главными. Другие потоки энергии «сверху» и «снизу» могут быть сопоставимы между собой, что свидетельствует о влиянии и тех, и других на вариации атмосферной и космической погоды, о взаимодействии двух погодных систем.

Взаимодействие между подсистемами в системе *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера* осуществляется, прежде всего, при помощи потоков энергии и вещества. Важными переносчиками энергии и вещества являются волны различной физической природы, потоки тепла и частиц, включая выпадающие высокоэнергичные частицы.

СОЛНЕЧНЫЕ БУРИ — ОСНОВНАЯ ПРИЧИНА ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Главной причиной вариаций космической погоды, а отчасти и вариаций атмосферной погоды являются нестационарные процессы на Солнце. К ним относятся вспышки электромагнитного и корпускулярного излучений, выбросы массы из короны Солнца (выбросы корональной массы), воздействие ударной волны в солнечном ветре, бомбардировка магнитосферы плазменными и магнитными облаками солнечного происхождения.

Схема взаимодействия подсистем при возмущениях на Солнце показана на рис. 2. Из рисунка, в частности, видно влияние вариаций потока солнечного ветра (солнечной активности) на проявление солнечно-погодных связей (взаимодействие двух погодных систем). Промежуточным звеном служит модуляция потоков галактических космических лучей.

Нестационарные процессы на Солнце и прежде всего выбросы корональной массы вызывают геокосмические бури.

Энергетические характеристики гео-космической бури приведены в табл. 5. Из табл. 5 видно, что в процессе бури больше всего изменяется энергия электрического поля во всех внешних оболочках

Таблица 3. Энергетические характеристики потоков «сверху»

Переносчик	Плотность потока энергии, Вт/м ²	Площадь воздействия, м ²	Мощность процесса, Вт	Длительность процесса, с	Примечание
Излучение спокойного Солнца: оптическое	1400	1,3·10 ¹⁴	1,8·10 ¹⁷	Непрерывно	Частично поглощается атмосферой и поверхностью Земли
	~ 2·10 ²	1,3·10 ¹⁴	~ 3·10 ¹⁶		
	~ 10 ⁻⁸	1,3·10 ¹⁴	~ 10 ⁶		
Излучение возмущенного Солнца: оптическое	1400	1,3·10 ¹⁴	1,8·10 ¹⁷	~ 10 ²	То же
	~ 2·10 ²	1,3·10 ¹⁴	~ 3·10 ¹⁶	~ 10 ²	
	~ 5·10 ⁻⁴	1,3·10 ¹⁴	~ 6,5·10 ¹⁰	~ 10 ²	
Солнечные протоны: спокойные условия	0,1	10 ¹⁶	10 ¹⁵	Непрерывно	Энергия протонов 10–100 МэВ Плотность потока 10 ¹¹ –10 ⁹ м ⁻² с ⁻¹ Плотность потока (2-3)·10 ¹² м ⁻² с ⁻¹
	2–3	10 ¹⁶	(2-3)·10 ¹⁶		
Солнечный ветер: спокойный	6·10 ⁻⁵	10 ¹⁶	6·10 ¹¹	4·10 ⁴ –3·10 ⁵	Концентрация частиц 5·10 ⁶ м ⁻³ ; Скорость частиц 400 км/с; Концентрация частиц 10 ⁸ м ⁻³ ; Скорость частиц 1000 км/с
	5·10 ⁻²	10 ¹⁶	5·10 ¹⁴		
возмущенный					
Галактические космические лучи	10 ⁻⁶	~10 ¹⁴	10 ⁸	Непрерывно	Плотность потока 10 ⁴ м ⁻² с ⁻¹ , энергия протонов 1 ГэВ
Метеорные потоки: фон	5·10 ⁻⁷	~10 ¹⁴	~5·10 ⁷	Непрерывно	Массы частиц не менее 10 ⁻¹⁰ кг
	5·10 ⁻²	~10 ¹⁴	~5·10 ¹²		
Высапающиеся высокоэнергичные частицы: спокойные условия	10 ⁻⁴	~10 ¹³	10 ⁹	10 ² –10 ⁴	Высокие широты
	1	~10 ¹³	~10 ¹³	10 ² –10 ⁴	
Инфракрасное излучение термосферы: спокойные условия	10 ⁻³ –10 ⁻²	5·10 ¹⁴	5·10 ¹¹ –5·10 ¹²	Непрерывно	Сильнее в высоких широтах
	0,1-1	5·10 ¹⁴	5·10 ¹⁴ –5·10 ¹⁵		

Земли. Существенно также варьируется тепловая энергия ионосферы. Магнитные возмущения обычно невелики, но их роль может быть значительной.

КОСМИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ВАРИАЦИЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Другими, менее интенсивными или более редкими, причинами вариаций атмосферной и космической погоды космического происхождения являются метеорные потоки и падения достаточно крупных космических тел.

Метеорные потоки приносят в систему вещество из космоса, формируют в ионосфере пылевую плазму, нагревают верхнюю атмосферу, создают дополнительную ионизацию и, что особенно важно для биосферы, являются источниками инфразвуковых волн.

Падения крупных космических тел способны изменить не только космическую погоду, но и существенно повлиять на космический климат, вызвать эффект «астероидной зимы», кардинально модифицировать биосферу и даже ее уничтожить. Подобные катаклизмы в истории Земли были. К счастью, чем больше размер космического тела, тем реже такие тела сталкиваются с Землей. Например, тела, подобные Тунгусскому, падают на Землю один раз в 300...1000 лет, а подобные Челябинскому — 1 раз в 50...80 лет.

Падения крупных космических тел сопровождаются генерацией возмущений электрического, магнитного, электромагнитного и инфразвукового полей, существенно воздействующих на биосферу (человека).

(продолжение следует)



Таблица 4. Энергетические характеристики потоков «снизу»

Переносчик	Плотность потока энергии, Вт/м ²	Площадь воздействия, м ²	Мощность воздействия, Вт	Длительность воздействия, с	Примечание
Инфракрасное излучение поверхности Земли	4·10 ²	5·10 ¹⁴	2·10 ¹⁷	Непрерывно	Поглощается и излучается атмосферой
Водяной пар	80	5·10 ¹⁴	4·10 ¹⁶	То же	При конденсации выделяется тепло в атмосфере
Конвекция воздуха	30	5·10 ¹⁴	1,5·10 ¹⁶	То же	-
Поток тепла из недр Земли	6·10 ⁻²	5·10 ¹⁴	3·10 ¹³	То же	Играет незначительную роль
Атмосферная турбулентность	1-10	5·10 ¹⁴	5·10 ¹⁴ –5·10 ¹⁵	То же	До высот ~100–120 км
Внутренние гравитационные волны (ВГВ)	0,1-1	5·10 ¹⁴	5·10 ¹³ –5·10 ¹⁴	То же	Эффективно поглощается в термосфере
Приливные волны	10 ⁻³	5·10 ¹⁴	5·10 ¹¹	То же	То же
Планетарные волны	10 ⁻³	5·10 ¹⁴	5·10 ¹¹	То же	То же
Инфразвук	10 ⁻⁴ –10 ⁻³	5·10 ¹⁴	5·10 ¹⁰ –5·10 ¹¹	То же	Достигает F-области ионосферы
Инфразвук от сильнейшего землетрясения	10 ² –10 ³	10 ¹¹	10 ¹³ –10 ¹⁴	10 ²	То же
Электромагнитное излучение сильнейшего землетрясения	10 ⁻³ –10 ⁻²	10 ¹¹	10 ⁸ –10 ⁹	10 ² –10 ³	То же
Акустическое излучение сильнейшей молнии	10 ⁻³	10 ⁹	10 ⁶	~1	Поглощается в атмосфере
Электромагнитное излучение сильнейшей молнии	10 ⁻³	10 ⁹	10 ⁶	~1	Достигает ионосферы и магнитосферы
Акустическое излучение мировой грозовой активности	10 ⁻³	10 ¹²	10 ⁹	Непрерывно	Поглощается в атмосфере
Электромагнитное излучение мировой грозовой активности	10 ⁻³	10 ¹²	10 ⁹	То же	Достигает ионосферы и магнитосферы

Таблица 5. Энергетические характеристики геокосмических бурь

Область геокосмоса	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность, с	Относительные изменения энергии	Примечание
Магнитосфера	10 ¹⁶	10 ¹²	10 ⁴	10 ⁻²	Энергия магнитного поля
	10 ⁸ –10 ¹⁰	10 ⁴ –10 ⁶	10 ⁴ –10 ⁵	10 ² –10 ⁴	Энергия электрического поля
Ионосфера	10 ¹²	10 ⁸	10 ⁴	±1	Тепловая энергия
	10 ⁵ –10 ⁷	10–10 ³	10 ⁴ –10 ⁵	10 ² –10 ⁴	Энергия электрического поля
Термосфера	10 ¹⁵ –10 ¹⁷	10 ¹¹ –10 ¹³	10 ⁴ –10 ⁵	10 ³ –10 ⁻¹	Тепловая энергия
Приземная атмосфера	10 ¹¹ –10 ¹²	10 ⁶ –10 ⁸	10 ⁴ –10 ⁵	1–10	Энергия атмосферного электрич. поля

Черногор Л. Ф.

доктор физ.-мат. наук, профессор, Заслуженный профессор ХНУ имени В.Н. Каразина, академик, дважды лауреат Премии СМ СССР, лауреат Государственной премии УССР в области науки и техники

Часть 2

ПОГОДА И КОСМОС

ЗЕМНЫЕ ПРИЧИНЫ ВАРИАЦИЙ АТМОСФЕРНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Обсудим кратко земные причины вариаций атмосферной и космической погоды, вызванные источниками сейсмического, вулканического и атмосферного (атмосферно-океанического) происхождения.

Сейсмические процессы сопровождаются генерацией квазистатических электрических и магнитных полей, электромагнитного излучения, выходом газов (в том числе и радиоактивного радона), нагревом приземной атмосферы, генерацией инфразвука и низкочастотных волн плотности атмосферы, называемых внутренними гравитационными волнами. Взаимодействие подсистем и основные процессы при этом изображены на рис.3.

Энергетические характеристики полей сейсмического происхождения приведены в табл. 6. Видно, что эти поля обладают значительной энергетикой, они способны влиять на вариации атмосферной и космической погоды.

Вариации атмосферной и космической погоды возникают в результате мощных потоков водяных паров от Мирового океана (особенно в приэкваториальных широтах), их конденсации, выделения латентного (скрытого) тепла, зарождения и усиления мощных самоорганизованных структур — атмосферных вихрей (типа тайфуна, тропического циклона), генерации инфразвука, внутренних гравитационных волн, квазистатических электрических и магнитных полей и электромагнитного излучения. Основные процессы в подсистемах и их взаимодействие представлено на рис.4.

Параметры инфразвука, вызванного океаническим волнением, приведены в табл. 7. Оказывается, что значения частоты близки к одной из собственных частот сердца человека (см. далее табл. 11).

Значительные вариации атмосферной погоды и, в меньшей степени, вариации космической погоды вызываются извержениями вулканов.

Вулканическая активность сопровождается следующими эффектами:

- взрывоподобное выделение энергии, генерация акустико-гравитационных волн, возникновение вариаций геомагнитного и геоэлектрического полей, изменение параметров глобальной электрической цепи;

- генерация сейсмических волн;

Таблица 6
Энергетические характеристики полей сейсмического происхождения

Поле	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность, с	Примечание
Электромагнитное с частотой: меньше 10 Гц 10 ³ — 10 ⁴ Гц 10 ⁵ — 10 ⁶ Гц	10 ¹⁰ — 10 ¹¹ 10 ¹³ — 10 ¹⁴ 10 ¹⁵ — 10 ¹⁶	10 ⁸ 10 ¹¹ 10 ¹³	10 ² — 10 ³ 10 ² — 10 ³ 10 ² — 10 ³	Достигает ионосферы и магнитосферы То же Сильно ослабляется в литосфере
Электрическое	10 ⁹	10 ⁴ — 10 ⁶	10 ³ — 10 ⁵	Достигает ионосферы
Магнитное	10 ¹⁰	10 ⁸	10 ²	То же
Инфразвуковое	10 ¹⁵ — 10 ¹⁶	10 ¹³ — 10 ¹⁴	10 ²	Достигает высот ~300 км

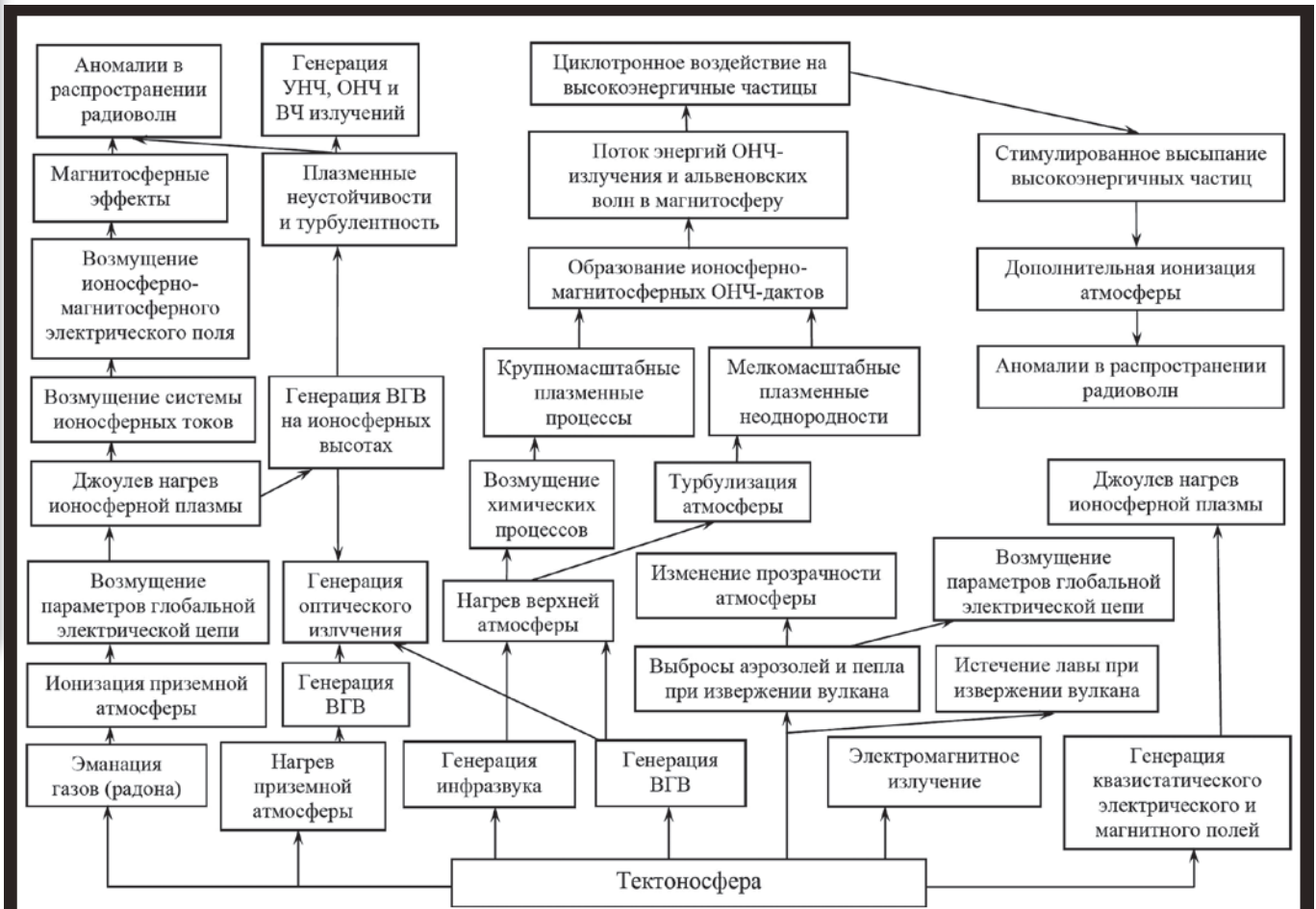


Рис. 3. Вариации атмосферной и космической погоды сейсмического и вулканического происхождения (УНЧ, ОНЧ и ВЧ — ультранизкочастотные, очень низкочастотные и высокочастотные излучения)

- выбросы аэрозолей (пылинок, чаще всего заряженных) в тропосферу и стратосферу;
- распространение акустико-гравитационных волн в верхнюю атмосферу, их поглощение, нагрев и турбулизация верхней атмосферы;
- изменение проводимости ионосферы и структуры электрических токов в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера.

— генерация крупномасштабной и мелкомасштабной плазменной турбулентности;

— возникновение плазменных эффектов в ионосфере и магнитосфере.

Большое значение имеют вторичные эффекты (вариации свечения атмосферы, высыпания частиц, аномалии в распространении радиоволн, генерация электромагнитных шумов и др.).

Особое место занимают триггерные эффекты (изменение прозрачности атмосферы, охлаждение земной поверхности, изменение параметров динамических процессов в атмосфере и др.). В этом случае энергия вторичных процессов значительно (на пять-шесть порядков) превышает энергию первичных процессов. В частности, может возникнуть эффект «вулканической зимы».

АНТРОПОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ВАРИАЦИЙ АТМОСФЕРНОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

Существует целый ряд мощных источников антропогенного происхождения, способных влиять на вариации атмосферной погоды и даже на вариации космической погоды. К ним относятся:

Таблица 7. Основные параметры акустического излучения, генерируемого океаническими волнами

Скорость ветра, м/с	Частота преобладающего колебания, мГц	Период преобладающего колебания, с	Площадь излучающего источника, км ²	Мощность излучения, Вт
10	147	6,8	700	2,6*10 ²
15	98	10,2	700	6,5*10 ³
20	74	13,6	700	6,5*10 ⁴
25	59	17	850	4,7*10 ⁵
30	49	20,4	850	2*10 ⁶
35	42	23,8	1000	8,1*10 ⁶
40	37	27,2	1200	2,9*10 ⁷
50	29	34	1400	2*10 ⁸
60	25	40,8	1600	9,6*10 ⁸
70	21	47,6	1800	3,8*10 ⁹
80	18	54,4	2300	1,4*10 ¹⁰
90	16	61,2	2800	4,3*10 ¹⁰

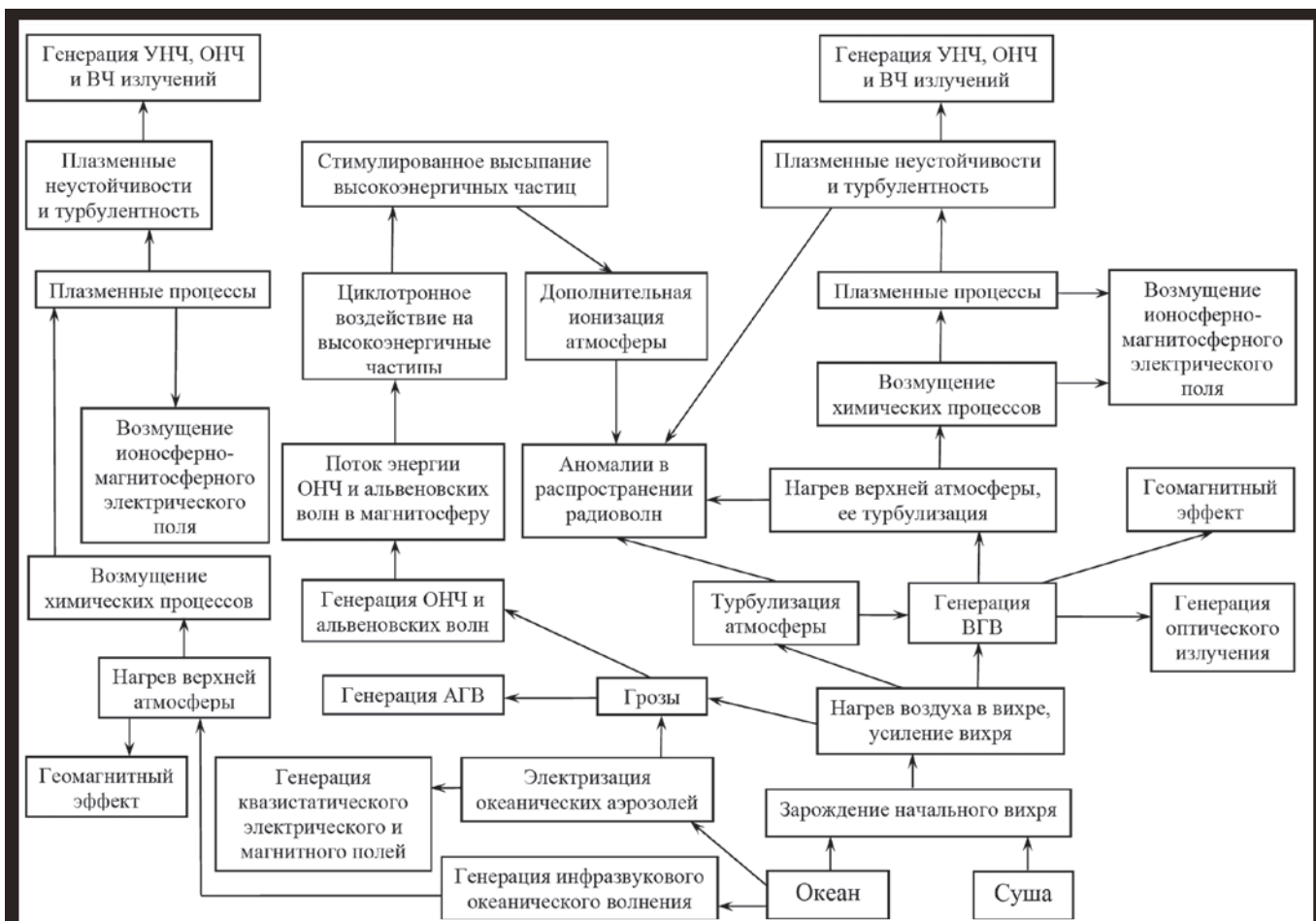


Рис. 4. Вариации атмосферной и космической погоды атмосферного (атмосферно-океанического) происхождения

- старты и полеты ракет;
- мощные промышленные взрывы;
- взрывные работы на горно-обогатительных комбинатах;
- военные действия;
- крупные аварии на военных базах и складах;
- крупные аварии на энергоёмких производствах, при транспортировке энергоносителей и т.п.

Приведем несколько примеров крупных аварий на военных базах, имевших место в последние годы в Украине. Для сравнения укажем, что все жители нашей страны потребляют мощность около 50 ГВт и энергию около 4 ПДж за сутки.

1. 10-11 октября 2003 г. Авария вблизи г. Артемовска. Общая масса боеприпасов — 3.17 килотонн (масса прореагировавших боеприпасов — 1.7 килотонн), энергосодержание — 15.2 тераджоулей (энергосодержание прореагировавших боеприпасов — 8.4 тераджоулей), энергия акустического излучения — порядка единиц тераджоулей, средняя мощность — порядка 100 мегаватт.

2. 6-15 мая 2004 г. Авария вблизи г. Мелитополя. Масса боеприпасов — 91 килотонн (масса прореагировавших боепри-

пасов — 18 килотонн), энергосодержание — 90 тераджоулей (энергосодержание прореагировавших боеприпасов — 20 тераджоулей), энергия акустического излучения — порядка 10 тераджоулей, средняя мощность — порядка 100 мегаватт.

3. 27-31 августа 2008 г. Авария вблизи г. Лозовая. Масса боеприпасов — около 100 килотонн, энергосодержание — около 100 тераджоулей, энергия акустического излучения — порядка 10 тераджоулей, средняя мощность — порядка 100 мегаватт.

В качестве примеров крупных аварий на энергоёмких производствах и при транспортировке энергоносителей приведем следующие.

1. 2004 г. Авария на газопроводе Уренгой — Помары — Ужгород на участке между компрессорными станциями №36 и №37.

2. 7 мая 2007 г. Авария на газопроводе Уренгой — Помары — Ужгород вблизи с. Лука Таращанского района Киевской области.

3. 6 декабря 2007 г. Авария на газопроводе Уренгой — Помары — Ужгород на участке между компрессорными станциями №36 и №37. Масса прореагировавшего вещества — 2.6 килотонн, энергосодержание — 130 тераджоулей, максимальная мощность горения — около 1 тераватта, энергия акустического излучения — около 1 гигаджоуля, энергия сейсмической волны — около 1 мегаджоуля.

Одним из важнейших факторов влияния вытекания газа при авариях на газопроводах, а также подземных хранилищах газа является генерация мощного инфразвукового излучения в полосах частот, со-

Таблица 8. Мощности акустического излучения при пожаре на подземном газовом хранилище в полосах частот, соответствующих δ -, θ -, α -, β — ритмам мозга человека

Площадь отверстия, м ²	1	3	10	30	10 ²	3*10 ²	10 ³
Мощность, МВт (δ -ритм)	1,2*10 ⁻³	1,8*10 ⁻²	0,4	6	1,2*10 ²	1,6*10 ³	3,3*10 ³
Мощность, МВт (θ -ритм)	1,1*10 ⁻²	0,2	3,4	50	4,4*10 ²	1,2*10 ³	2,2*10 ³
Мощность, МВт (α -ритм)	5,5*10 ⁻²	0,8	16	1,1*10 ²	3,2*10 ²	6*10 ²	10 ³
Мощность, МВт (β -ритм)	1,4	1,5	66	1,3*10 ²	2,5*10 ²	4,3*10 ²	7,2*10 ²

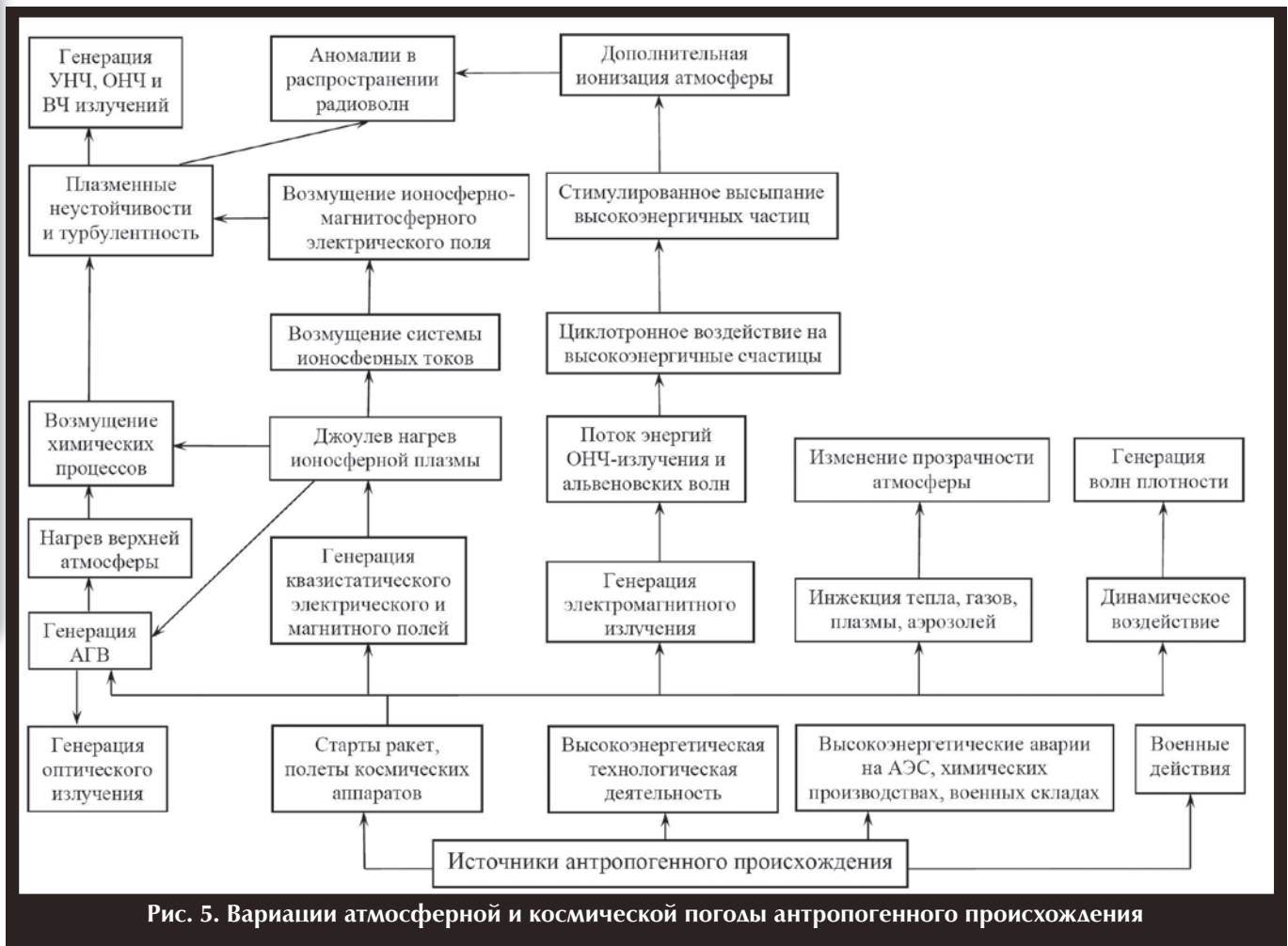


Рис. 5. Вариации атмосферной и космической погоды антропогенного происхождения

ответствующих основным ритмам мозга человека (табл. 8). Из табл. 8 видно, что в зависимости от площади отверстия, через которое происходит утечка газа, мощность акустического излучения изменяется от единиц киловатт до единиц гигаватт. Следует ожидать исключительно сильного влияния этого излучения на мозг и психику человека.

Эффекты региональных неядерных войн на примере военных действий в феврале-марте 2003 г. в Ираке детально проанализированы в работе автора.

Схема взаимодействия подсистем в результате антропогенного воздействия приведена на рис. 5. Видно, что энерговыделение на поверхности Земли и в приземной атмосфере может приводить к определенным процессам в верхней атмосфере, ионосфере и даже магнитосфере, а значит давать свой вклад в вариации атмосферной и космической погоды.

ВЛИЯНИЕ НА БИОСФЕРУ

Биосфера (человек, человечество) входят в качестве подсистемы в систему *Солнце — МСМИА — Земля — биосфера*, которая, как уже отмечалось, является открытой динамической и нелинейной. Этой системе свойственны сложность и способность к самоорганизации, в ней следует ожидать синергетического воздействия на подсистемы.

В свою очередь, человек представляет собой открытую динамическую нелинейную биофизическую и биохимическую систему. Вблизи метастабильных (малоустойчивых) состояний эта система очень чутко реагирует на внешние весьма слабые аperiodические, квазипериодические и особенно хаотические возмущения. При этом в системе конкурируют квазидетерминированные и

хаотические процессы.

К уровням организации живой материи, на которых осуществляется воздействие вариаций атмосферной и космической погоды, отнесем следующие:

- клеточный;
- органнй;
- организменный;
- популяционно-видовой (социальный);
- синергетический.

Основными каналами воздействия вариаций атмосферной и космической погоды на биосферу (человека) являются:

- возмущения электрического поля;
- возмущения магнитного поля;
- возмущения барического поля;
- синергетическое воздействие.

Основные параметры физических полей перечислены в табл. 9. Видно, что относительные возмущения могут быть значительными.

Кроме аperiodических возмущений, на человека действуют периодические возмущения (пульсации). Их основные параметры приведены в табл. 10. Из сравнения табл. 9 и 10 видно, что амплитуда пульсаций значительно меньше величины аperiodических возмущений. В то же время скорость изменения относительных изменений физических полей в $10 \dots 10^4$ раз больше для пульсаций. По этой причине воздействие пульсаций на организм человека может быть намного сильнее. Особенно значительна роль тех пульсаций, частота которых близка к собственной частоте органов человека (табл. 11).

Установлено, что вариации атмосферной и космической погоды воздействуют прежде всего на сердечно-сосудистую систему

Таблица 9
Параметры аperiodических возмущений электрического, магнитного и барического полей, воздействующих на человека

Поле	Фоновое значение	Возмущение	Относительное возмущение	Характерное время возмущения, с	Скорость изменения относительных возмущений, с ⁻¹
Электрическое	~ 100 В/м	10 ² — 10 ⁵ В/м	1 — 10 ³	10 ³ — 10 ⁵	10 ⁻⁵ — 1
Магнитное	5*10 ⁻⁵ Тл	5*10 ⁻⁷ Тл	10 ⁻²	10 ³ — 10 ⁵	10 ⁻⁷ — 10 ⁻⁵
Барическое	10 ³ Па	< 10 ² Па	< 10 ⁻¹	10 ³ — 10 ⁵	10 ⁻⁶ — 10 ⁻⁴

Таблица 10
Параметры пульсаций электрического, магнитного и барического полей, воздействующих на человека

Поле	Амплитуда	Относительная амплитуда	Период, с	Скорость изменения относительных возмущений, с ⁻¹	Отношение скоростей
Электрическое	1 — 10 ⁴ В/м	10 ⁻² — 10 ²	10 ⁻² — 10 ³	10 ⁻¹ — 1	< 10 ⁴
Магнитное	10 ⁻¹⁰ — 10 ⁻⁷ Тл	10 ⁻⁶ — 10 ⁻³	10 ⁻² — 10 ³	10 ⁻⁶ — 10 ⁻⁴	< 10
Барическое	10 ⁻² — 10 Па	10 ⁻⁵ — 10 ⁻²	10 ⁻² — 10 ³	10 ⁻⁵ — 10 ⁻³	< 10

человека и механизмы ее регуляции. Воздействие осуществляется на всех уровнях организации живой материи (человека). Каналы воздействия поняты не до конца. Существуют представления о том, что сердце — это не только механический насос, но и электромагнитный генератор. Он заставляет двигаться вместе с кровью волны плотности электрического заряда, которые связаны с распространением электромагнитных волн внутри биообъекта. Тогда наличие чувствительности биообъектов к внешним электромагнитным полям можно объяснить взаимодействием указанных внутреннего электромагнитного поля с этими полями.

Следует также иметь в виду, что в крови человека содержатся магнитные диполи (молекулы кислорода и ионы железа), чутко реагирующие на изменения магнитного поля. Сверхслабые магнитные поля влияют на ядра атомов, точнее на их спины, то есть собственные моменты количества движения элементарных частиц.

На вариации электрического поля реагируют ионы, содержащиеся в жидкостях человека. Хорошо известно, что человек примерно на 70% состоит из воды, в которой растворены различные соли. При определенных условиях соли диссоциируют (распадаются) на ионы.

Влияние на операторов и водителей. Важность влияния вариаций атмосферно-космической погоды на операторов сложных систем (АЭС, электростанций, мощных энергосистем и т. п.), космонавтов, летчиков, машинистов, водителей и др. трудно переоценить. От их скорости и точности реагирования на быстро изменяющуюся обстановку зависит жизнь очень многих людей.

Впервые влияние солнечных (точнее, геокосмических) бурь на частоту дорожно-транспортных происшествий (ДТП) проанализировал врач Р. Рейтер (Мюнхен, Германия) в начале 1950-х гг. Анализ 150 тыс. ДТП показал, что в дни бурь число аварий в г. Мюнхене резко возрастало. Он объяснил это снижением в 4 раза скорости реакции водителей.

Проведенные в 1958...1964 гг. аналогичные исследования в г. Томске (Россия) показали, что в дни бурь число ДТП возрастало в 4 раза по сравнению с магнитоспокойными днями.

Подобные исследования неоднократно проводились и позже в ряде стран. В ходе этих исследований установлено, что в периоды геокосмических бурь количество жертв ДТП увеличивалось на 10...20%. Только в Украине в ДТП ежегодно гибнет 10 тыс.

человек, а в мире — до 1 млн человек. Из них около 10...20% жертв обусловлено влиянием геокосмических бурь.

Влияние на космонавтов. Космонавты, пожалуй, сильнее всего подвержены влиянию геокосмических бурь и вариаций космической погоды. Потому, что они практически беззащитны перед вредным влиянием космоса.

Детальные исследования влияния геокосмических (точнее, магнитных) бурь на состояние космонавтов проведено по инициативе гелиобиолога Т.К. Бреус (г. Москва, Россия). Ее группой установлено, что у космонавтов в период бурь возникают существенные сдвиги в варибельности сердечного ритма, что отражает изменение автономной регуляции сердеч-

ной деятельности.

Исследования Т.К. Бреус и ее соавторов показали, что в начале длительного полета под действием бурь у космонавтов возникает неспецифическая стресс-реакция, увеличивается частота пульса, дестабилизируется дыхательная функция, увеличивается число аритмических сокращений сердца и т. п.

В конце полугодового пребывания на космическом корабле у космонавтов в период бурь наблюдалась дестабилизация состояния функционального напряжения.

Таким образом, геокосмические бури больше всего воздействуют на сердечно-сосудистую систему и механизмы ее регуляции, как космонавтов, так и жителей Земли. Естественно, что на космонавтов в полете дополнительно воздействуют вредные излучения, потоки частиц и поля.

Таблица 11
Ориентировочные значения собственных частот человека

Орган	Частота, Гц
Кишечник	10 ⁻²
Легкие	10 ⁻¹ — 1
Сердце	< 3*10 ⁻³ , 3*10 ⁻³ — 4*10 ⁻² , 10 ⁻² — 10 ⁻¹ , 10 ⁻¹ — 1
Мозг	0 — 4, 4 — 8, 8 — 14, 14 — 40
Нервные волокна	10 ² — 10 ³

ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНОСФЕРУ

Влияние на энергосистемы. Вариации геомагнитного поля, сопровождающие изменения космической погоды, генерируют вторичные электрические токи в проводящей оболочке Земли — литосфере, а также в искусственных проводниках. К ним относятся линии электропередач, телекоммуникационные кабели, трубопроводы, рельсы железных дорог и т. п. Все эти проводники обладают двумя общими свойствами — большой длиной и низким сопротивлением. И хотя наводимая в проводниках удельная разность потенциалов относительно невелика (3...5 В/км), из-за большой длины проводника (сотни тысяч километров)

возникают большие перепады напряжения (1...10 кВ). При сопротивлении, например, в 100 Ом дополнительная сила тока в искусственном проводнике достигает значений около 10...100 А. Особенно чувствительны к перегрузкам трансформаторы, электрические подстанции и т. п.

Описанные эффекты наиболее сильно сказываются в высоких широтах, но существенны в средних и низких широтах. Например, максимальное значение удельной разности потенциалов было зарегистрировано в Норвегии в 1940 г., где оно достигло значения 50 В/км.

Появление дополнительных токов во время сильнейших геокосмических бурь и привело к авариям, которые были описаны выше.

Влияние на автоматику и телемеханику. Человек все больше функций доверяет автоматам, которые представляют собой, как правило, электронные приборы. Обычно электронные автоматы являются низковольтными и низкоамперными, т. е. рассчитаны на относительно низкие напряжения и токи. Резкие вариации космической погоды во время сильных геокосмических бурь приводят к выходу из строя таких автоматов.

Рядом авторов проведены статистические исследования влияния вариаций космической погоды на функционирование систем автоматики и телемеханики на железных дорогах, в том числе и в средних широтах. Например, на Восточно-Сибирской железной дороге (Россия) частота сбоев и отказов в работе автоматической блокировки в периоды геокосмических бурь в шесть раз выше, чем в спокойных условиях. А ведь такие сбои приводят к нарушению графика движения поездов, к многочасовым их опозданиям и даже к авариям на железных дорогах.

Влияние на авиационную технику. В настоящее время самолетами разных типов совершается около 35 млн вылетов в год. Число аварий самолетов составляет 70...100 в год. При этом около 12% аварий связано с отказами техники, 10% — с вариациями атмосферной погоды, точнее, с плохими метеоусловиями, 73% — с «человеческим» фактором, а 5% — неустановленными причинами.

Многие авторы пытались установить наличие статистической связи между авариями (авиационными происшествиями) и солнечной либо магнитной активностями. При этом получены противоречивые результаты. Одни авторы утверждают, что такая связь существует, другие свидетельствуют о ее отсутствии.

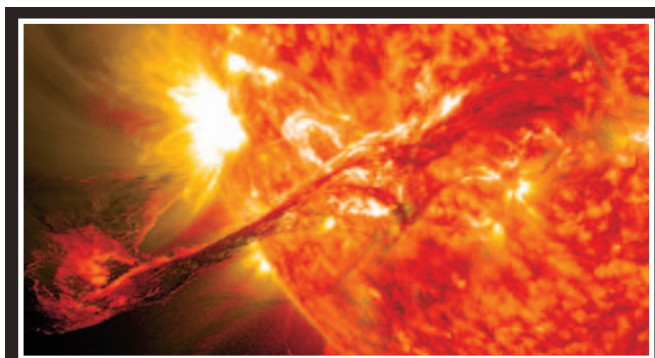
Вариации космической погоды двояко могут влиять на количество авиационных происшествий: приводить к сбоям и отказам электронных устройств самолета и к ошибкам летного состава и работников наземных служб, которые сводятся к так называемому «человеческому фактору».

Механизмы влияния вариаций атмосферно-космической погоды на человека рассмотрены выше. Это влияние существенно. Конечно, оно зависит от состояния здоровья летного состава и работников наземных служб, их личных качеств, темперамента, степени утомления и т. п.

Что касается механизмов влияния вариаций атмосферно-космической погоды на электронные устройства, автоматику и телемеханику, то они в целом подобны механизму, который описан выше на примере железных дорог.

Влияние на число аварий при стартах ракет. В период с 1957...2013 гг. с различных космодромов мира стартовало около 5200 ракет, из которых примерно 450 оказались аварийными. Аварии сопровождались потерей запускаемых космических аппаратов, гибелью космонавтов и обслуживающего персонала, а также большими финансовыми затратами и упущенными возможностями.

Российские геофизики проанализировали систематическую



Выброс корональной массы Солнца 31 августа 2012 г. со скоростью 1440 км/с



Северное сияние, освещающее небо над США (снимок сделан на МКС)

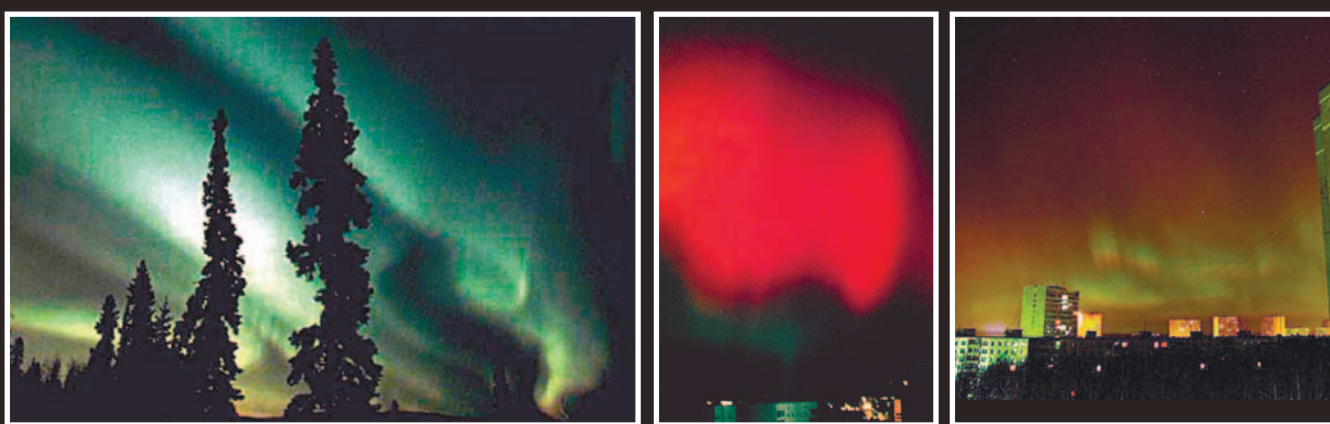
связь вариаций космической погоды с аварийными запусками ракет с космодрома Плесецк, который является самым северным космодромом в мире. Участки выведения космических аппаратов с этого космодрома проходят через высокие геомагнитные широты. Именно здесь влияние вариаций космической погоды должно сказываться сильнее всего. Из анализа исключались аварии, возникшие до старта ракет.

В последние 20 лет с космодрома Плесецк ежегодно стартует до 20 ракет, 1...3 запуска, т. е. 1.5...15% являются аварийными. Частота аварий на низкоширотном космодроме Байконур существенно ниже. Например, в период 2000...2006 гг. не было ни одного аварийного старта ракеты.

Статистический анализ показал, что частота аварий при стартах ракет с космодрома Плесецк в летнее время в два раза больше, чем в другие сезоны. Возможно, это связано с вариациями атмосферной погоды, точнее с изменением параметров атмосферного электричества (увеличением проводимости атмосферы, ростом напряженности атмосферного электрического поля и т. п.).

Статистическая связь частоты аварий стартов ракет с индексами геомагнитной активности не обнаружено. Это не означает, что вариации космической погоды не влияют на частоту аварийных пусков ракет. Канал воздействия, скорее всего, иной. Наиболее вероятным из них является влияние указанных вариаций на самочувствие обслуживающего старты ракет персонала (боевого расчета).

Влияние на функционирование искусственных спутников Земли (ИСЗ). Влияние вариаций космической погоды сильнее всего сказывается на ИСЗ, поскольку они находятся за пределами плотной земной атмосферы и геомагнитного поля, т. е. вынесены в открытый космос.



Полярное сияние 30 октября 2003 г. (слева направо: Кольский п-ов, Харьков, Москва)

Воздействие указанных вариаций на работу спутниковых систем обнаружено более 40 лет тому назад в определенных конкретных случаях, когда сбои в функционировании космического аппарата совпадали по времени с сильнейшими солнечными и геокосмическими бурями.

Статистические исследования, проведенные в США и России, подтвердили, что существует устойчивая связь между сбоями в работе космических систем и вариациями космической погоды.

Исследования ряда российских геофизиков подтвердили, что геокосмические бури приводят к увеличению вероятности сбоев и неисправностей аппаратуры космического базирования. Для этого они проанализировали более 6000 отказов.

Оказалось, что к сбоям и отказам приводят усилившиеся вскоре после начала солнечных бурь потоки высокоэнергичных протонов и электронов с энергиями не менее 10 и 2 МэВ соответственно.

Частота сбоев также возрастает в периоды геокосмических бурь, которые вызываются ударами потоков плазмы солнечного происхождения по магнитосфере Земли.

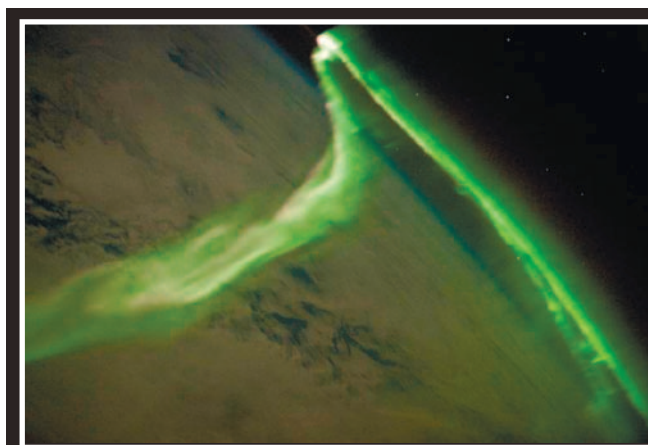
Влияние на спутниковые системы навигации и позиционирования. В настоящее время наиболее эффективными космическими системами навигации и позиционирования являются GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Системы используют высоколетящие ИСЗ (высота около 20000 км) и опорные радиоволны с частотой около 1...1.5 ГГц. В спокойных условиях характеристики этих радиоволн практически не искажаются геокосмической средой и атмосферой. Погрешность определения координат при этом составляет 10...20 м.

Совсем другая ситуация возникает во время геокосмических бурь. В этом случае среднеширотная ионосфера приобретает свойства высокоширотной ионосферы, что сопровождается усилением интенсивности флуктуации концентрации плазмы, т. е. ее турбулизацией. Это вызывает глубокие замирания радиоволн различных диапазонов, снижение в $10^2...10^4$ раз отношения сигнал/шум, определяющего качество функционирования радиосистем, и усиление фазовых флуктуаций радиоволн.

Во время геокосмических бурь погрешность определения координат в высоких и средних широтах увеличивается в десять раз. В ряде случаев функционирование спутниковой системы позиционирования вообще нарушается на 10...60 мин.

СПОСОБЫ БОРЬБЫ

Перечислим способы борьбы с влиянием космической погоды на технологические изделия. Сразу надо сказать, что не существует кардинальных способов борьбы с пагубным влиянием геокосмических бурь и вариацией космической погоды



Южное полярное сияние, запечатленное с Международной космической станции 29 мая 2010 г.

на высокотехнологические изделия землян. Можно только ослабить это влияние.

Во-первых, следует разрабатывать более совершенные космические аппараты и приборы, способные противостоять усиливающимся потокам высокоэнергичных частиц солнечного происхождения, электромагнитным полям и излучениям.

Во-вторых, целесообразно применять резервирование приборов и средств.

В-третьих, необходимо разработать методы и способы прогноза геокосмических бурь и вариаций космической погоды. Это оказывается крайне полезным и для человека, оператора, водителя, машиниста, летчика, космонавта и даже домохозяйки.

ЧТО ЖЕ ГЛАВНОЕ?

Выбросы корональной массы Солнца, плазменных и магнитных облаков, воздействие ударных волн в солнечном ветре, потоки корпускул и всплески электромагнитного излучения — основные причины систематических вариаций космической погоды. Определенный вклад в эти вариации дают также усиливающиеся метеорные потоки, падения крупных космических тел, флуктуации потоков галактических лучей. Ощутимый вклад в вариации космической погоды могут вносить высокоэнергетические процессы на Земле, под ее поверхностью, в приземной атмосфере, вариации атмосферной погоды и даже антропогенное воздействие на атмосферу и геокосмос.

Вариации атмосферной и космической погоды, часто связанные между собой, сопровождаются генерацией возмущений геомагнитного, геоэлектрического и акустического полей. При

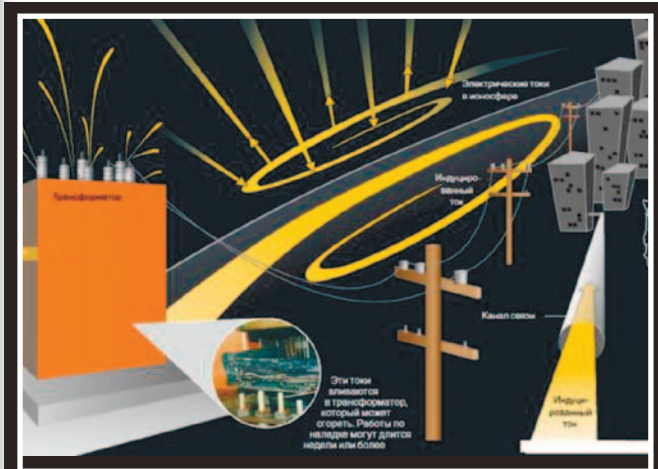


Схема воздействия электрических токов в ионосфере на электрические токи на поверхности Земли и в каналах связи. Индуцированный ток вливается в трансформатор, что может привести к его сгоранию

этом изменяется не только квазистационарная составляющая полей, но и генерируются квазипериодические волновые пакеты (пульсации) этих полей в широком диапазоне периодов (от 10^2 до 10^4 с) или частот (от 10^2 до 10^{-4} Гц) и длительностью от одного до нескольких часов.

С точки зрения влияния на биосферу (человека), по-видимому, более важными являются не медленные изменения квазистационарных составляющих полей во времени, а их пульсации. Скорее всего, здоровый организм успевает подстраиваться под медленные изменения полей. Иное дело — больной организм.

Максимальные изменения индукции геомагнитного поля не превышают 500 нТл (нТл — нанотесла), а напряженности атмосферного электрического поля достигают $10^2 \dots 10^5$ В/м. При этом относительные значения соответственно близки к 10^{-2} и 10^{-3} . При характерном времени изменения полей $10^3 \dots 10^5$ с имеем скорости изменений порядка $5 \cdot 10^{-3} \dots 0.5$ нТл/с, $10^{-3} \dots 10^2$ В/мс для абсолютных величин, $10^{-7} \dots 10^{-5}$ с $^{-1}$, $10^{-5} \dots 1$ с $^{-1}$ и относительных величин соответственно.

Для пульсаций с периодами $10^{-2} \dots 10^3$ с значения скоростей изменения составляют $10^{-1} \dots 10$ нТл/с, $10^3 \dots 10^6$ В/мс, $10^{-6} \dots 10^{-4}$ с $^{-1}$ и $10^{-1} \dots 1$ с $^{-1}$. Первые из них относятся к абсолютным значениям, а вторые — к относительным.

Важно, что органы человека обладают собственными частотами. Поэтому воздействие пульсаций с частотами, близкими к собственным, является более эффективным (за счет резонанса), а значит и труднопереносимым для организма.

Это же относится к воздействию пульсаций акустических полей (давления воздуха). Для последних амплитуда составляет $0.01 \dots 10$ Па (Па — паскаль), периоды равны $10^{-2} \dots 10^3$ с, относительные изменения порядка $10^{-5} \dots 10^{-2}$, скорость изменения около $10^{-5} \dots 10^3$ Па/с, а скорость изменения относительной величины давления близка к $10^{-5} \dots 10^{-3}$ с $^{-1}$.

ВЫВОДЫ

1. Для исследования, моделирования, прогнозирования вариаций атмосферной и космической погоды, выявления каналов и механизмов их воздействия на биосферу и техносферу необходим разработанный автором системный подход. Системная парадигма должна стать основой теории, методом и методологией изучения физической системы Солнце — МСМИА — Земля — биосфера.

Система Солнце — МСМИА — Земля — биосфера является открытой динамической нелинейной системой, которой присущи нетривиальные недостаточно изученные свойства.



Примеры воздействия геокосмических бурь на электрическое оборудование (США, штат Нью Джерси, 13–14 марта 1989 г.)

2. Установлено, что причинами вариаций атмосферной и космической погоды являются воздействия источников космического, земного и антропогенного происхождения. В ряде случаев их энергетика может быть соизмеримой. Возможно синергетическое воздействие этих источников.

3. Продемонстрировано, что систематически возникающие высокоэнергетические крупномасштабные процессы на нашей планете приводят к взаимодействию подсистем в системе Солнце — МСМИА — Земля — биосфера. Эти процессы играют определяющую роль в глобальном энерго- и массообмене. Они существенно влияют на биосферу, человека и общество.

4. Активные эксперименты (взрывы, старты ракет и т. п.) оказались удобными и эффективными средствами для изучения и моделирования взаимодействия подсистем, а также их воздействия на биосферу (и, следовательно, человека).

5. Крупномасштабные неядерные военные действия, а также аварии и катастрофы на энергоёмких производствах и военных базах, являясь разновидностью активных экспериментов, приводят к комплексу эффектов не только на поверхности планеты и в приземной атмосфере, но и в остальных частях атмосферы, в ионосфере и в магнитосфере, т. е. дают вклад в вариации атмосферной и космической погоды, а значит, влияют на самочувствие и здоровье человека.

6. Автором построены основы моделей главных процессов в системе Солнце — МСМИА — Земля — биосфера.

7. Основными каналами воздействия вариаций атмосферной и космической погоды на человека (биосферу) являются достаточно быстрые вариации (пульсации) атмосферного электрического поля, атмосферного давления и геомагнитного поля с периодами от 10^2 до 10^3 с.

8. Эффективность воздействия на человека физическими полями увеличивается вблизи его собственных частот. Эти поля воздействуют, прежде всего, на сердечно-сосудистую систему человека и механизмы ее регуляции.

9. Для устойчивого существования высокотехнологичной цивилизации очень важна стабильность космического климата. Его стабильность будет способствовать выживанию и устойчивому развитию нашей цивилизации, овладевающей все более совершенными и сложными технологиями.

10. Еще более важной является предсказуемость вариаций атмосферной и космической погоды, их величин, продолжительностей, последствий и т. п. От этого, в значительной мере, зависит судьба каждого жителя Земли, страны и цивилизации в целом.

