

УДК 550.388, 520.16+523.31+523.9:520.86

Л. Ф. Черногор

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Земля—атмосфера—геокосмос

как открытая динамическая нелинейная система

Обґрунтовано, що утворення тектоносфера — атмосфера — іоносфера — магнітосфера (ТАИМ) є складною відкритою динамічною нелінійною системою. Сформульовані основні положення системної парадигми, що ілюструються низкою прикладів. До найважливіших властивостей системи належить поява тригерних механізмів вивільнення енергії. Високоенергійні явища викликають в системі цілий комплекс процесів, перебудову характеру взаємодій підсистем. Активні експерименти в системі ТАИМ показали обмеженість лінійного опису реакції підсистем на потужне енерговиділення, дозволили встановити можливість виникнення великомасштабних і глобальних збурень при локальному і локалізованому енерговиділенні, а також виявити та ідентифікувати типи хвиль, що переносять зазначені збурення. Встановлено, що висипання енергійних частинок з магнітосфери в середніх широтах супроводжує більшість нестационарних процесів у системі ТАИМ.

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ПАРАДИГМЫ

Целью работы является обоснование основных положений системной парадигмы применительно к объекту тектоносфера — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ТАИМ).

Земля и околоземная среда — единая система, состоящая из геосфер. В отличие от ТАИМ геокосмосфера образована верхней атмосферой, ионосферой и магнитосферой. Качественно новое понимание наблюдаемых процессов во всех геосферах и построение их физико-математических моделей невозможно в рамках прежней парадигмы — совокупности исходных положений данной науки.

Новая — системная — парадигма явилась результатом труда многих специалистов. В четком виде она сформулирована в 80-х годах прошлого века автором настоящей работы [2]. Новая парадигма предполагает рассмотрение образования ТАИМ как открытой динамической и нелинейной системы [2—4]. Между подсистемами есть прямые и обратные, положительные и отрицательные связи. В систему ТАИМ как «сверху», так и «снизу» поступают излучение, вещество, энергия и негэнт-

ропия (рис. 1, 2). Система ТАИМ — динамическая система. Энергетика естественных и антропогенных процессов в системе ТАИМ — значительна, что предопределяет ее нелинейность. Для нелинейных систем характерны сложность процессов, множест-

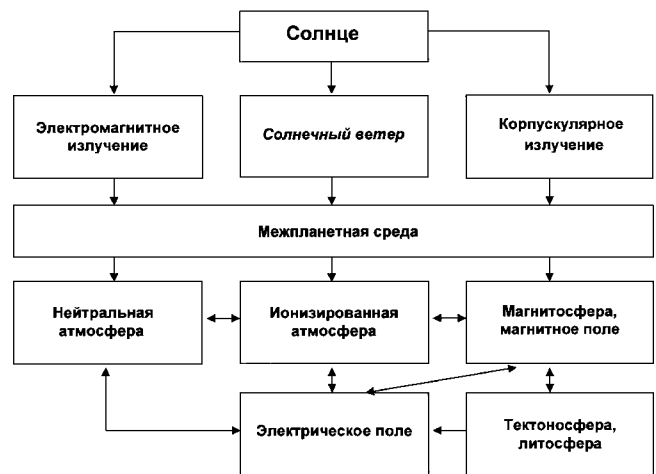


Рис. 1. Схема взаимодействия подсистем

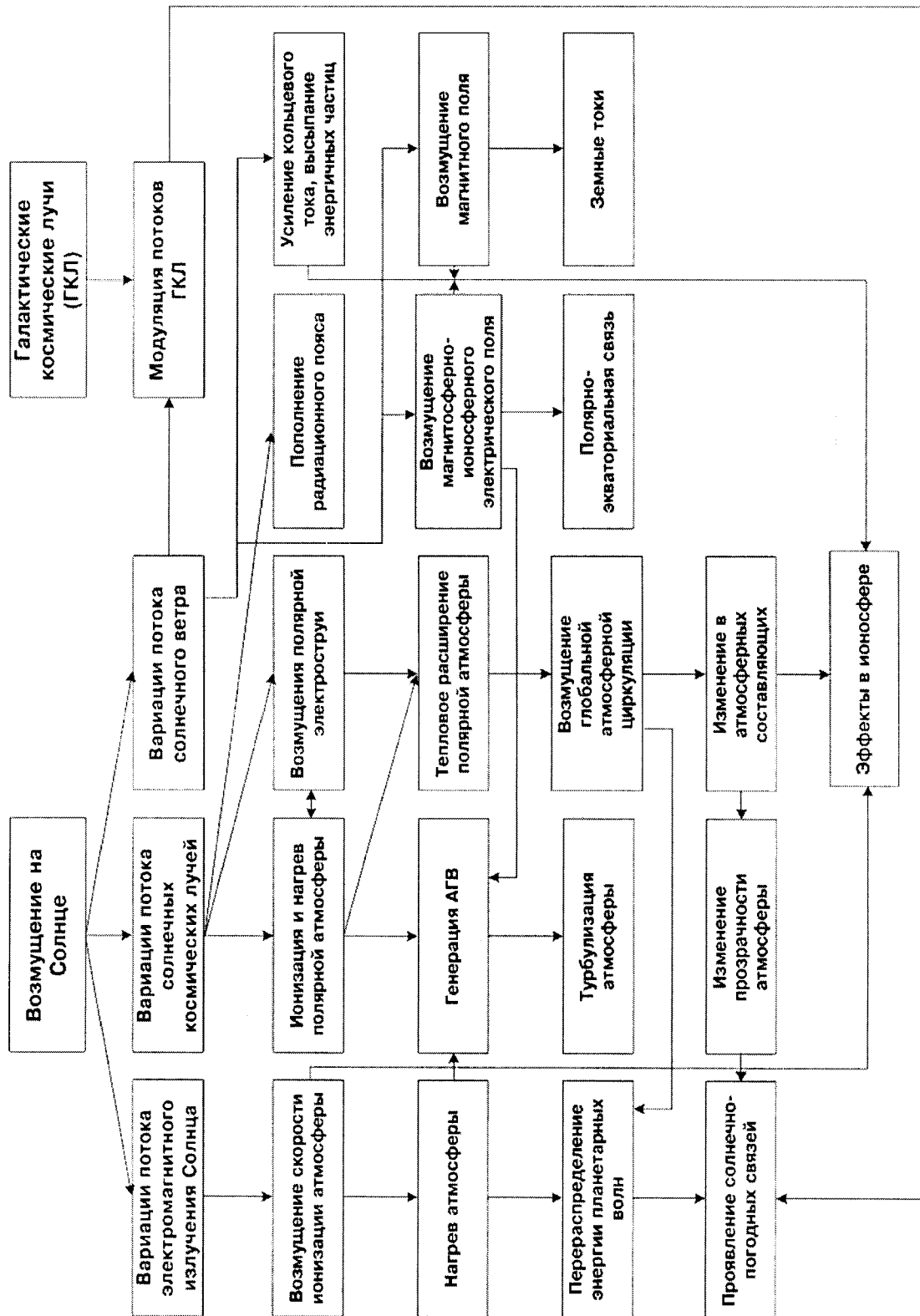


Рис. 2. Схема процессов, сопровождающих геокосмическую бурю и вариации космической погоды

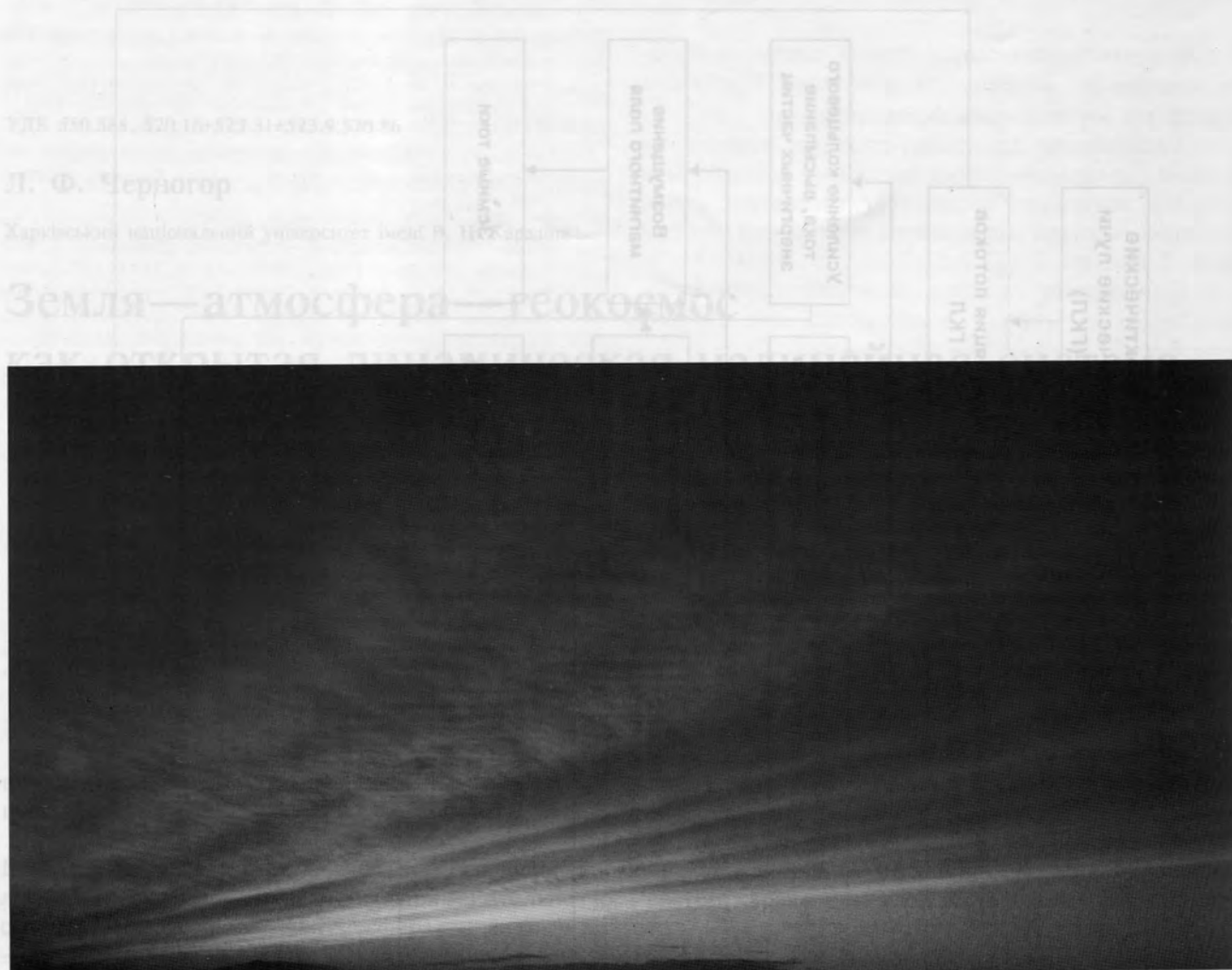


Рис. 3. Упорядоченная облачная структура 7 ноября 2001 г. над Украинской антарктической станцией «Академик Вернадский». (Фото участника VI украинской антарктической экспедиции К. П. Гармаша)

венность состояний, возможность возникновения детерминированного хаоса, самоорганизации, проявление триггерных эффектов, возникновение новых свойств у системы и т. п. [4].

Пример явления самоорганизации показан на рис. 3. К явлению самоорганизации также относится возникновение когерентных структур, обнаруженных в амплитуде хаотического, рассеянного неоднородностями D-области ионосферы радиосигнала (рис. 4). Упорядоченность обусловлена, скорее всего, ионосферно-магнитосферным взаимодействием, и в частности, пульсирующими потоками энергичных электронов.

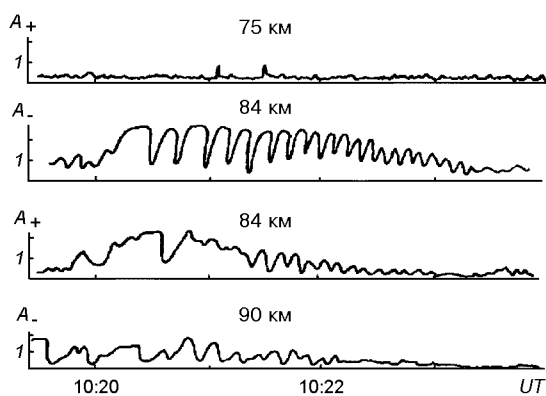


Рис. 4. Временные вариации амплитуд частично отраженных (обратно рассеянных неоднородностями нижней ионосферы) обыкновенной (знак «+») и необыкновенной (знак «-») составляющих сигнала 23 января 1984 г., сопровождавших возмущение ионосферы мощным радиоизлучением. Основные параметры возмущающей радиосистемы (вблизи г. Нижний Новгород): частота $f_1 = 5$ МГц, эффективная мощность $P_1 G_1 \approx 200$ МВт, длительность излучения $\tau_1 = 7$ мин, период цикла $T_1 = 15$ мин. Параметры радара частичных отражений (вблизи г. Харьков): импульсная мощность $P_2 G_2 = 10$ МВт, частота $f_2 = 2.2$ МГц, длительность импульса $\tau_2 = 25$ мкс, период $T_2 = 1$ с. Зондирующая волна линейно поляризованная. Обе системы излучали вертикально вверх. Значения амплитуд приведены в относительных единицах

ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТАИМ

Солнце — основной источник энергии на Земле. Солнечные вспышки и выбросы корональной массы формируют состояние космической погоды (см. рис. 1, 2). В геокосмосфере им сопутствует целый комплекс физических процессов, называемый геокосмической бурей. Энергия и мощность возмущенного солнечного ветра, падающего на магнитосферу Земли, может достигать 10^{17} Дж и 10^{14} Вт.

Солнечная вспышка сопровождается ростом интенсивности оптического, рентгеновского и корпу-

скулярного излучений. При этом электронная концентрация N в D-области ионосферы увеличивается на 1-2 порядка, возникают геомагнитные пульсации в диапазоне периодов 10—1000 с, генерируются волновые возмущения (ВВ) в атмосфере и ионо-сфере.

Затмение Солнца (ЗС). Это явление также обладает значительной энергетикой и вызывает комплекс физико-химических процессов на всех высотах, а также перестройку всей геокосмосферы в течение 2—4 ч. Усиливается атмосферно-ионосферное, ионосферно-магнитосферное и ионосферно-плазматическое взаимодействия. Во время частных (73 %) ЗС 11.08.99 г. и 31.05.03 г. имело место значительное (на 10—50 %) уменьшение N при $z = 70...350$ км. Высыпание электронов 11.08.99 г. привело к росту N на высотах 81—87 км через 100—40 мин после начала ЗС. Объяснено малоинерционное уменьшение температуры электронов, достигшее 420—600 К при $z \approx 200...700$ км, и инерционное уменьшение температуры ионов T_i от 100 до 600 К, имевшее место на высотах 400—700 км. Время становления T_i составляло 40—20 мин соответственно. Во время ЗС нисходящий поток плазмы из плазмосферы достиг $-2.5 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а до и после ЗС восходящие потоки составляли $(1-2) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ [1].

Солнечный терминатор (СТ) приводит к перестройке ионосферно-плазматического и ионосферно-магнитосферного взаимодействий, вызывает высыпание частиц из радиационного пояса в нижнюю ионосферу, генерирует ВВ в ионосфере и т. д. Относительная амплитуда ВВ $\Delta N/N$ обычно 1—10 %, но может достигать и 20—30 %, продолжительность — около 1-2 ч, типичные периоды $T \approx 15...60$ мин.

Геокосмические бури. Этот термин объединяет магнитную, ионосферную и атмосферную бури, вызванные воздействием на геокосмосферу возмущенного солнечного ветра. Энергетика бури — велика (табл. 1). Энергия солнечного ветра из магнитосферы по силовым линиям в виде электрических полей, потоков частиц и плазмы проникает в ионосферу и атмосферу, вызывая их нагрев и подъем. При этом возмущается система термосферных ветров, возникает перестройка химических реакций, генерируются и перемещаются ВВ. Важно, что в волне $\Delta N/N$ может достигать 50 %. Такие волны относятся к нелинейным, их профиль N-образный. В волновых пакетах преобладают гармоника с $T \approx 40...120$ мин, их скорость 0.5—0.7 км/с.

Сильные землетрясения (ЗТ). Энергия сильнейшего ЗТ достигает 10^{19} Дж, мощность — 10^{17} Вт.

Таблица 1. Энергетические характеристики геокосмической бури

Область геокосмоса	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность, с	Относительное изменение энергии	Примечание
Магнитосфера	10^{16}	10^{12}	10^4	10^{-2}	Энергия магнитного поля
	10^8	10^4	10^4	10^2	Энергия электрического поля
Ионосфера	10^{12}	10^8	10^4	± 1	Тепловая энергия
	10^5	10	10^4	10^2	Энергия электрического поля
Термосфера	10^{15}	$10^{10}-10^{11}$	10^4-10^5	10^{-3}	Тепловая энергия

Таблица 2. Энергетические характеристики полей сейсмического происхождения

Поле	Энергия, Дж	Мощность, Вт	Продолжительность, с	Примечание
Электромагнитное:				
$f \leq 10$ Гц	$10^{10}-10^{11}$	10^8	10^2-10^3	Достигает ионосферы и магнитосферы
$f = 10^3-10^4$ Гц	$10^{13}-10^{14}$	10^{11}	10^2-10^3	Достигает ионосферы и магнитосферы
$f = 10^5-10^6$ Гц	$10^{15}-10^{16}$	10^{13}	10^2-10^3	Сильно ослабляется в литосфере
Электрическое	10^9	10^4-10^6	10^3-10^5	Достигает ионосферы
Магнитное	10^{10}	10^8	10^2	Достигает ионосферы
Инфразвуковое	$10^{15}-10^{16}$	$10^{13}-10^{14}$	10^2	Достигает высот порядка 300 км

Таблица 3. Эффекты метеорных потоков

Источник	Δt , с	Δq , $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$	ΔN , м^{-3}	$\Delta N/N$	ΔT_a , К
Фон метеоров	10^5	10^3-10^4	$3 \cdot 10^6-3 \cdot 10^7$	$10^{-3}-10^{-2}$	$10^{-2}-10^{-1}$
Метеорный поток	10^5	10^6-10^7	$2 \cdot 10^9-2 \cdot 10^{10}$	1—10	10—100
Сильнейший метеорный дождь	10^3	$3 \cdot 10^7-3 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^{10}-4 \cdot 10^{12}$	20—2000	10—100

Сейсмические процессы сопровождаются генерацией электромагнитного излучения в диапазоне частот $f \leq 10^6$ Гц, квазистатических электрических и магнитных полей, а также акустико-гравитационных волн (АГВ), т. е. инфразвуковых и внутренних гравитационных волн — ВГВ. За взаимодействие подсистем в системе ТАИМ отвечают механизмы, связанные с генерацией АГВ (акустико-гравитационный механизм), электромагнитного излучения (электродинамический механизм) и квазистатических полей (квазистатический механизм). Их энергетика — значительна (табл. 2). ЗТ вызывают комплекс крупномасштабных и глобальных процессов в системе ТАИМ: генерацию и распространение ВВ, стимулированное высыпание электронов, усиление уровня шумового радиоизлучения и т. п.

Грозовая активность (ГА). Энергия и мощность сильнейшей молнии достигают 10^{10} Дж и 10^{10} Вт. Мощность $P_{\text{ем}}$ ОНЧ-излучения молнии составляет 1—10 МВт, плотность потока мощности

в геокосмосферу 10—100 мВт/м². Таких значений достаточно для перестройки ионосферно-магнитосферного взаимодействия, для стимуляции высыпания заряженных частиц из радиационного пояса. На Земле одновременно происходит около 2000 гроз, площадь каждого очага порядка 1000 км². При этом $P_{\text{ем}} \sim 1-10$ ГВт. Электростатическая энергия и мощность среднего грозового облака порядка 10^{12} Дж и $3 \cdot 10^9$ Вт, а всех грозовых облаков — на 3 порядка больше. Мировая ГА осуществляет «подпитку» геокосмосферы, стимулируя взаимодействие между подсистемами. Локальные эффекты гроз сводятся к нагреву нижней ионосферы, высыпанию энергичных частиц, свечению атмосферы, генерации АГВ и т. п.

Метеорные потоки (МП) приводят к нагреву атмосферного газа, увеличению средней концентрации электронов N в E-области ионосферы (в ночное время), к генерации возмущений магнитного и ионосферного электрического полей и т. п. Эти

эффекты являются усредненными по времени действия метеорного потока. Результаты расчета усредненных возмущений N и температуры атмосферного газа T_a для высоты 120 км, где ночью $N = 2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$, приведены в табл. 3 (Δt — продолжительность потока, Δq — изменение скорости ионизации).

АКТИВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Мощное радиоизлучение (МР) оказывает только электромагнитное воздействие на плазму и является экологически «чистым». Нами выполнен анализ измерений, проведенных в 1972—2000 гг. (более 3000 ч наблюдений). Для воздействия на геокосмосферу использовались установки, удаленные от места наблюдения (г. Харьков) на расстояния $R \sim 100, 700, 1100, 2000$ и 10000 км. Их эффективная мощность составляла $10\text{—}380$ МВт, $f \approx 1\text{—}8$ МГц (рис. 5, 6).

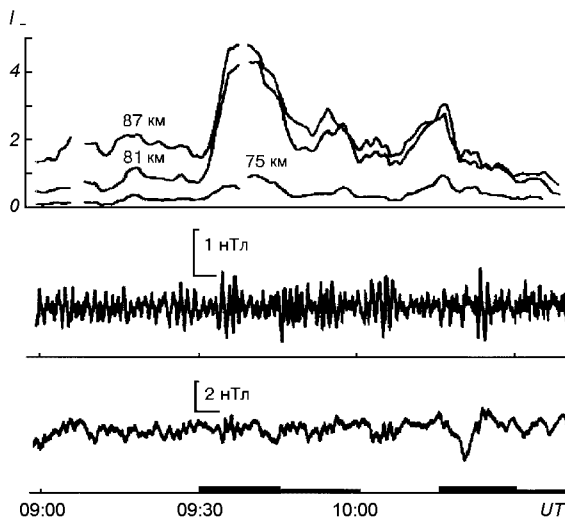


Рис. 5. Временные вариации интенсивности частично-отраженных (обратно-рассеянных неоднородностями нижней ионосферы) радиосигналов (необыкновенная компонента) и компоненты «север — юг» индукции геомагнитного поля в диапазоне частот $0.01 - 0.3$ и $1.4 - 13$ мГц, сопутствовавшие включению мощного радиоизлучения. Возмущающая радиосистема расположена вблизи г. Москва, а зондирующая — вблизи г. Харьков (расстояние около 700 км). Измерения флуктуаций геомагнитного поля проведены в обсерватории Борок (Ярославская обл.). Значения интенсивности приведены в относительных единицах. На оси времени показан режим излучения возмущающей установки (15 мин эффективная мощность $P_1G_1 = 80$ МВт, 15 мин $P_1G_1 = 40$ МВт, далее пауза 15 мин); частота $f_1 = 5.905$ МГц, амплитудная модуляция колебанием с частотой 1 кГц, глубина модуляции 60%. Параметры радара частичных отражений такие же, как на рис. 4. Измерения проведены 20 ноября 1986 г.

В результате многолетних комплексных радиофизических наблюдений экспериментально установлено и теоретически объяснено неизвестное ранее явление возникновения интенсивных ($\sim 100\text{—}1000\%$) крупномасштабных и слабых ($\sim 1\text{—}10\%$) глобальных аperiодических возмущений N в нижней ионосфере, а также ВВ в средней ионосфере, сопровождаемых вариациями геомагнитного поля, стимулированных воздействием на ионосферу мощного нестационарного радиоизлучения декаметрового и гектометрового диапазонов. Процессы в нижней ионосфере связаны с перестройкой взаимодействий в геокосмосфере и высыпанием частиц из радиационного пояса, в средней ионосфере — с генерацией и распространением волн плотности, период, продолжительность ΔT и скорость v которых составляли соответственно $10\text{—}30$ мин, $1\text{—}2$ ч и $0.5\text{—}0.7$ км/с. При этом $\Delta N/N \sim 1\text{—}10\%$ (см. рис. 5, 6).

Космические аппараты (КА) с включенными двигателями оказывают на среду гидродинамическое, тепловое, электромагнитное и химическое воздействия. В результате возникают геокосмофизические, радиофизические, оптические и другие эффекты. Анализ измерений выполнен для более чем 300 стартов КА (более 20 типов ракет мощностью $10^7\text{—}10^{11}$ Вт) с 12 космодромов, 55 посадок КА и падений 3 орбитальных станций. Имели место и аварийные запуски КА. Установлено, что старты КА могут вызывать крупномасштабные и глобальные возмущения в геокосмосфере, перестраивать взаимодействия между ее подсистемами. Определены основные типы волн, переносящие возмущения [4].

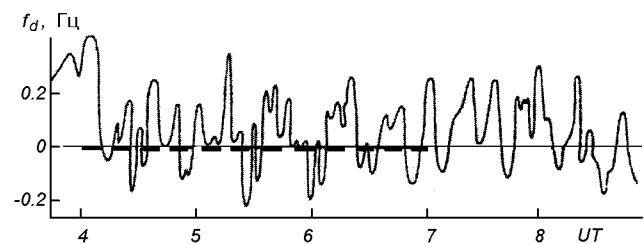


Рис. 6. Временные вариации доплеровского смещения частоты, сопровождавшие возмущение ионосферы мощным радиоизлучением. Штрихи на оси времени — интервал работы возмущающей установки (вблизи г. Нижний Новгород). Ее параметры: эффективная мощность $P_1G_1 \approx 300$ МВт, частота $f_1 = 5.8$ МГц, длительность излучения $\tau_1 = 2$ мин, период цикла $T_1 = 3$ мин. Волна обыкновенной поляризации. Параметры зондирующей установки (вблизи г. Харьков): импульсная мощность $P_2G_2 = 1$ кВт, частота $f_2 = 4.7$ МГц, длительность импульса $\tau_2 = 1$ мс, период $T_2 = 0.01$ с. Волна линейно поляризованная. Обе системы излучали вертикально вверх. Измерения проведены 24 апреля 1984 г.

Мощные взрывы. Проведен анализ результатов наблюдений, выполненных в 80 гг. прошлого века. Взрывы производились в СССР (полигоны Н. Земля, Семипалатинск, Капустин Яр), в США (полигон Невада) и в Китае. Энерговыделение при подземных ядерных взрывах (всего 55) изменялось от 1 до 200 кт, при химических взрывах (всего 11) — от 1 до 10 т и подрывах ракет СС-20 (всего 24) — от 0.01 до 0.1 кт. В этих наблюдениях $R \approx 200 \dots 10000$ км. При $R \leq 1000$ км надежно регистрировались возмущения с $v \approx 0.3 \dots 0.7$ км/с (в нижней и средней ионосфере). Возмущения с $v \approx 2 \dots 4$ км/с при $R \sim 1000 \dots 10000$ км наблюдались неуверенно.

ВОЛНОВЫЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ КАНАЛЫ ОБМЕНА ЭНЕРГИЕЙ

Взаимодействие между подсистемами осуществляется при помощи волн (полей) различной физической природы и потоков частиц. Так, из литосферы и приземной атмосферы в геокосмосферу поступает энергия в виде электромагнитного и акустического излучений, квазистатических электрических и маг-

нитных полей, ВГВ и т. п. Вдоль магнитных силовых линий переносятся энергия ионосферных электрических полей и потоки холодной плазмы из ионосферы (днем), вниз устремляются потоки энергичных частиц, потоки холодной плазмы (ночью). Оценены плотности потоков мощности Π_i и Π_p ионосферного электрического поля E_i и высыпавшихся электронов с энергией 10–100 кэВ (табл. 4).

Волновые процессы. Перенос возмущений от источников энерговыделения до места наблюдения осуществляется при помощи как линейных, так и нелинейных волн (табл. 5). Большинство этих типов волн наблюдались в наших экспериментах. Примеры линейных волновых возмущений приведены на рис. 7, а нелинейных волн — на рис. 8 и рис. 9.

Стимулированное высыпание частиц. Нами предложен достаточно универсальный и эффективный механизм высыпания частиц из радиационного пояса, связанный с замедлением электронов в электрическом поле поляризации

$$E_p = E_i |\Delta N / N|,$$

ΔN — возмущение N в E-области ионосферы с

Таблица 4. Характеристики каналов обмена энергией

Широты	Условия	E_i , мВ/м	Π_i , Вт/м ²	Плотность потока электронов, м ⁻² с ⁻¹	Π_p , Вт/м ²
Средние	Не возмущенные	0, 3	10^{-7}	$10^5 - 10^7$	$10^{-10} - 10^{-7}$
	Возмущенные	3	10^{-5}	$10^7 - 10^9$	$10^{-8} - 10^{-5}$
Высокие	Не возмущенные	5	$3 \cdot 10^{-5}$	$10^9 - 10^{10}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
	Возмущенные	50	$3 \cdot 10^{-3}$	$10^{11} - 10^{12}$	$10^{-4} - 10^{-3}$

Таблица 5. Типы волн, переносящих возмущения на глобальные расстояния

Тип волны	Фазовая скорость, км/с	Период, с	Декремент затухания, км ⁻¹	Среда распространения
Акустическая	0.3–0.7	$10^{-2} - 300$	$10^2 - 10^{-5}$	Атмосфера (≤ 400 км)
ВГВ	0.3–0.7	> 300	$10^{-4} - 10^{-3}$	Атмосфера (≤ 400 км)
Медленная	$10^2 - 1$	$1 - 10^4$	$2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$	E-область ионосферы
МГД	$3 \cdot 10^2 - 10$	$1 - 10^3$	$10^{-3} - 10^{-4}$	F-область ионосферы
Сейсмическая продольная	6.5–7.5	0.1–30	$10^{-5} - 10^{-3}$	Литосфера
Хантадэ поперечная	4–5	То же	То же	То же
Хантадэ день	~ 1	$3 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$	Не оценивался	E-область ионосферы
Хантадэ ночь	~ 20	$5 \cdot 10^2 - 2.4 \cdot 10^3$	То же	То же
Гиротропная день	40–25	$10 - 10^4$	Не оценивался	E-область ионосферы
Гиротропная ночь	750	$10 - 10^4$	То же	То же
МГД	~ 1000	$> 10^{-2}$	$< 10^{-5} - 10^{-4}$	Ионосфера, магнитосфера

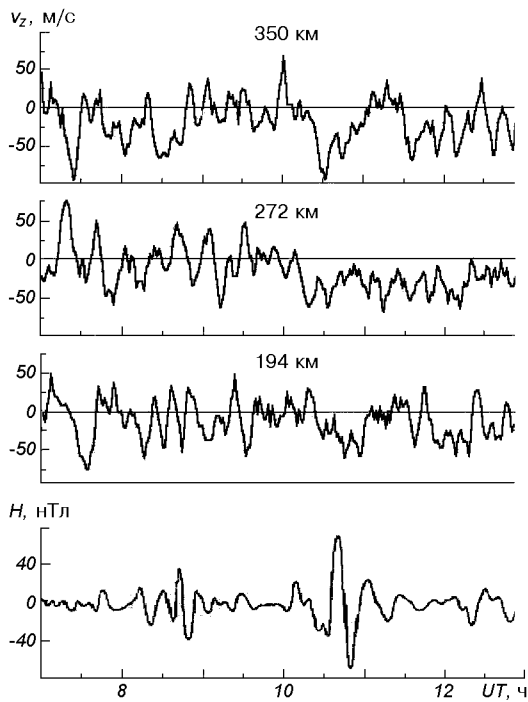


Рис. 7. Магнитоионосферные волновые возмущения, сопровождавшие геокосмическую бурю 25 сентября 1998 г. Измерения вертикальной составляющей скорости движения плазмы выполнены методом некогерентного рассеяния вблизи г. Харькова, а флуктуации горизонтальной составляющей индукции геомагнитного поля — вблизи г. Иркутска [1]

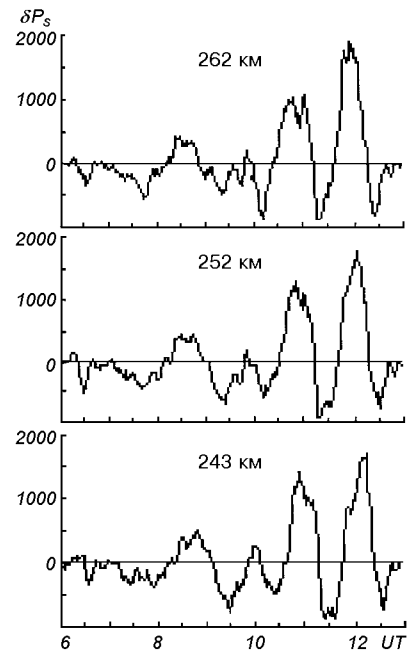


Рис. 8. Нелинейные волны, сопровождавшие геокосмическую бурю 25 сентября 1998 г. [1]. Флуктуации некогерентно рассеянной мощности δP_s приведены в относительных единицах

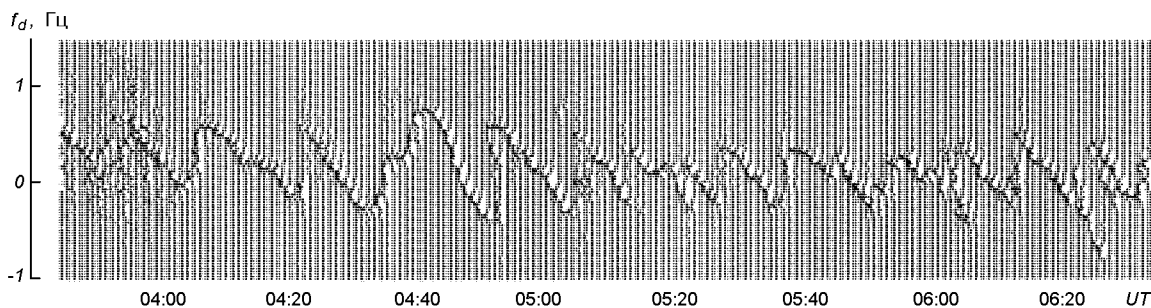


Рис. 9. Временные вариации доплеровского смещения частоты, обусловленные распространением нелинейной волны электронной концентрации. Параметры доплеровского радара: импульсная мощность $P_2G_2 = 1$ кВт, частота $f_2 = 3.5$ МГц, длительность импульса $\tau_2 = 1$ мс, период $T_2 = 0.01$ с. Волна линейно поляризованная. Измерения проведены 15 ноября 2000 г.

горизонтальным размером L_{\perp} . При $E_{\perp} \approx 3$ мВ/м, $L_{\perp} \sim 100...1000$ км и $\Delta N/N \approx 1$ имеем $E_p \approx 3$ мВ/м и изменение «поперечной» энергии электронов, захваченных в геомагнитную ловушку, $\Delta \epsilon_{\perp} \approx eE_p L_{\perp} \approx 0.3...3$ кэВ. Такого уменьшения энергии часто достаточно для стимуляции высыпания электронов. Этот механизм, по-видимому, наблюдался нами при воздействии МР, ЗС, ЗТ, прохождении

СТ и т. п. По измеренным значениям N и ΔN для различных событий оценены плотности потока Π электронов и протонов (табл. 6).

Второй эффективный механизм высыпания электронов связан с генерацией циклотронной неустойчивости. Число n энергичных частиц в силовой трубке и плотность w энергии ОНЧ-волн описываются следующими уравнениями:

Таблица 6. Параметры потоковвысыпаяющихся энергичных частиц и производимая ими ионизация

Событие	Дата	Вид частиц	Высота, км	ΔN , м^{-3}	q , $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$	Δq , $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$	Π , $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$	ε , кэВ
МБ	15.06.83	электроны (протоны)	55—60	$3 \cdot 10^8$	10^5	$15 \cdot 10^5$	$2.3 \cdot 10^7$ ($7.8 \cdot 10^5$)	500 (15000)
МБ	15.05.97	электроны	84	$0.5 \cdot 10^9$	$1.4 \cdot 10^7$	$1.5 \cdot 10^7$	$3.8 \cdot 10^8$	60
Протонная вспышка	25.02.91	электроны (протоны)	72.5	$5 \cdot 10^9$	10^7	$35 \cdot 10^7$	$1.6 \cdot 10^9$ ($1.2 \cdot 10^7$)	150 (20000)
СТ (вечер)	24.05.97	электроны	80	10^9	10^7	$3 \cdot 10^7$	$2.7 \cdot 10^8$	80
СТ (утро)	25.05.97	электроны	80	$6 \cdot 10^8$	$6.4 \cdot 10^6$	$1.3 \cdot 10^7$	$1.7 \cdot 10^8$	80
Середина ночи	25.05.97	электроны	90	$3 \cdot 10^8$	—	$3 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$	40
ЗС	11.08.99	электроны	84	$5 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^5$	$55 \cdot 10^5$	$3.2 \cdot 10^7$	60
ЗТ	24.08.99	электроны	84	$4 \cdot 10^8$	$2.5 \cdot 10^6$	$5.6 \cdot 10^6$	$6.6 \cdot 10^7$	60
Старт КА	15.05.87	электроны	80	10^9	$3 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^8$	80
МР	01.03.91	электроны	88	$3 \cdot 10^9$	$1.3 \cdot 10^7$	$2.7 \cdot 10^7$	$4.5 \cdot 10^8$	40

$$dn/dt = I_n - \gamma n w, dw/dt = I_w + \Gamma n w - \nu_w w,$$

где I_w и I_n — источники мощности ОНЧ-волн и частиц, $\Gamma \approx 2.5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ — коэффициент связи, ν_w^{-1} — время становления w , $\gamma \approx 10^{12} \text{ м}^3/\text{Дж} \cdot \text{с}$ — коэффициент связи (для геомагнитной оболочки с $L \approx 2$). Тогда $\Pi = \gamma n w / 2$. Например, при инжекции ОНЧ-энергии молнии $I_w \approx 10^{-13} \dots 10^{-12} \text{ Вт}/\text{м}^3$, $n \approx 4 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}$ и $\Pi \approx 2 \cdot 10^{10} \dots 2 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Если в качестве источника частиц выступает солнечный ветер, то при $I_n \approx 2 \cdot 10^8 \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$ имеем $\Pi \approx 10^8 \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образование ТАИМ целесообразно рассматривать как открытую динамическую нелинейную систему. Энергетика процессов в системе ТАИМ — велика, что обычно приводит к нелинейности физических процессов в ней. Система ТАИМ — открытое как «снизу», так и «сверху» образование, параметры которого изменяются во времени и пространстве.

Высокоэнергичные явления (землетрясения, вулканы, грозы, мощные атмосферные явления, терминатор, затмения Солнца, вспышки на Солнце, геокосмические бури и т. п.) вызывают целый комплекс процессов в системе ТАИМ, приводят к перестройке характера взаимодействий подсистем, к накоплению и высвобождению энергии.

Активные эксперименты оказались весьма эффективными для моделирования процессов в подсистемах и их взаимодействия. Они показали ограниченность линейного описания системы, позволили установить возможность возникновения крупномасштабных и глобальных возмущений при локальном

и локализованном энерговыделении.

Взаимодействие между подсистемами в системе ТАИМ осуществляется при помощи волн различной физической природы, квазистатических полей, потоков частиц, тепла и т. п. Выявлены или отождествлены типы волн, переносящие возмущения в системе на значительные и глобальные расстояния. Предложен достаточно универсальный механизм высыпания электронов из радиационного поля. Показано, что высыпание электронов в средних широтах сопровождается большинством нестационарных процессов в системе ТАИМ. Их потоки составляют величину порядка $10^7 \dots 10^9 \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Экспериментально установлено и теоретически объяснено неизвестное ранее явление возникновения крупномасштабных и глобальных процессов в геокосмосфере, стимулированных воздействием на ионосферу мощного нестационарного радиоизлучения. Эффекты связаны с проявлением ионосферно-магнитосферного взаимодействия и распространением в горизонтальном направлении акустико-гравитационных волн.

Работа выполнена при поддержке НТЦ Украины, проектное соглашение № 1772.

1. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Результаты радиофизических исследований процессов в ионосфере, сопровождавших сильнейшую геомагнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Успехи современной радиоэлектроники. — 2003. — 9. — С. 57.
2. Черногор Л. Ф. Глобальные эффекты при локальном энерговыделении в геосфере // Нетрадиционные научные идеи о природе и ее явлениях. — Гомель, 1990. — Том II. — С. 221.
3. Черногор Л. Ф. Геокосмосфера — открытая динамическая нелинейная система // Вісник Харків. національного ун-ту ім. В. Н. Каразіна. — 2002. — № 570. — С. 175.

4. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8.—С. 59.

THE EARTH—ATMOSPHERE—GEOSPACE ENVIRONMENT SYSTEM AS AN OPENED DYNAMIC NONLINEAR ONE

L. F. Chernogor

The view that the tectonosphere — atmosphere — ionosphere — magnetosphere system (TAIMS) can be considered as a complex

open dynamic nonlinear system is justified. The basic aspects of the system paradigm are stated and illustrated by many examples. The trigger mechanisms belong to the most important properties of the system. High-energy phenomena in the system give rise to the entire cluster of processes and to the reconstruction in the subsystem coupling. Active experiments in the TAIMS showed the limitation of the linear description of the subsystem response to powerful energy releases, allowed us to establish the possibility of large-scale and global-scale perturbation initiation from local and localized energy releases, as well as revealed and identified the types of waves transferring these disturbances. It is established that energetic particle precipitation from the magnetosphere at middle latitudes accompanies the majority of nonsteady processes in the TAIMS.