

Архив может содержать различные типы данных: спутниковые изображения, результаты обработки изображений, температурные карты, статистические данные, алгоритмы их обработки, документацию и т. д. Коллекция — группа данных, объединенных на основе каких-либо общих атрибутов. Эти атрибуты являются описанием коллекции, которое может быть использовано для формирования дополнительных критериев поиска. Коллекция может содержать как описания (дескрипторы) конечных данных, так и описания других коллекций, образуя сложную иерархию коллекций. Все типы коллекций поддерживают поисковые методы, определенные стандартом CIP, а именно:

— *поиск коллекций*. Этот метод используется для поиска коллекций, удовлетворяющих заданным условиям (время, координаты, тип датчика и т. п.) Результат поиска может быть использован для дальнейшего поиска с измененными условиями;

— *поиск данных*. Этот метод используется для поиска дескрипторов, указывающих на конечный продукт — данные ДЗЗ.

Пользователь может дополнительно задавать область поиска: выполнять поиск только в одном каталоге (локальный поиск) или задать распространение поискового запроса на другие каталоги и архивы (распределенный поиск).

УДК 550.388, 520.16+523.31+523.9; 520.86

Л. Ф. Черногор

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

Физика и экология системы

Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера

Представлено 25.06.07

Обґрунтовано, що утворення Земля — атмосфера — іоносфера — магнітосфера (ЗАІМ) є складною відкритою динамічною нелінійною системою. Сформульовано основні положення системної парадигми. Показано, що високоенергійні явища в системі викликають у ній комплекс, як правило, нелінійних процесів, перебудову характеру взаємодії підсистем. Обговорюються екологічні наслідки аварій, катастроф і регіональних війн у системі ЗАІМ.

ВВЕДЕНИЕ. СИСТЕМНАЯ ПАРАДИГМА

Цель данной работы — обоснование необходимости системного подхода к образованию Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ЗАИМ) и изучению процессов в нем. Статья представляет

1. Кудашев Е. Б., Филонов А. Н. Интегрированная распределенная информационная система спутниковых данных в программах исследования Земли из космоса // Тр. Восьмой Всероссийской науч. конф. (RCDL 2006) «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции», Суздаль, 17–19 октября 2006. — Ярославль: Ярославский гос. ун-т им. П. Г. Демидова, 2006. — С. 131–139.
2. Кудашев Е. Б., Филонов А. Н. Геоинформатика на WEB: от локальных БД к распределенным информационным системам спутниковых данных // Тр. Всероссийской конф. «Научный сервис в сети интернет: технологии параллельного программирования», Новороссийск, 18–23 сентября 2006 г. — М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2006. — С. 196–198.
3. Kudashev E. B., Filonov A. N. Environmental Monitoring Digital Library: Improving the accessibility of the Russian Satellite data // EnviroInfo Brno 2005. Informatics for Environmental Protection: Proc. of the 19th International Conf. Informatics for Environmental Protection, September 7–9, 2005. — Masaryk University in Brno, Czech Republic. 2005. — P. 230–238.

DISTRIBUTED ACCESS AND SEARCH FOR THE SATELLITE DATA OF REMOTE SENSING

E. B. Kudashev, A. N. Filonov

We consider the emerging standards designed for the elaboration of distributed service-oriented environments. The project of integration of the Russian Satellite data archive in International Information Systems of Remote Sensing is observed as an example.

собой краткий обзор результатов исследований автора, выполненных в последние годы.

Важнейшим достижением физики Земли, атмосферы и геокосмоса явилось осознание того факта, что качественно новое понимание наблюдаемых процессов во всех геосферах и построение их физи-

ко-математических моделей невозможно в рамках прежней парадигмы. Новая — системная — парадигма в четком виде сформулирована в 1980-х гг. автором [1, 7]. Ценность и плодотворность новой парадигмы состоит в том, что она предполагает рассмотрение образования ЗАИМ как открытой динамической нелинейной системы. Между подсистемами существуют прямые и обратные, положительные и отрицательные связи. В систему как «сверху», так и «снизу» поступают излучение, вещество, энергия и негэнтропия. Негэнтропия поддерживает систему в неравновесном состоянии и обеспечивает протекание диссипативных процессов. Образование ЗАИМ — динамическая система. Ее параметры изменяются во времени и пространстве. Энергетика естественных и антропогенных процессов в системе ЗАИМ и ее подсистемах — значительна [1—7, 15]. Поэтому система описывается нелинейными дифференциальными уравнениями. Обмен между подсистемами излучением, веществом, энергией и негэнтропией столь велик, что система способна находиться в состояниях, далеких от равновесия. Для нелинейных систем характерны сложность процессов, множественность состояний, возможность возникновения детерминированного хаоса, самоорганизации, проявление триггерных эффектов, возникновение новых не присущих подсистемам свойств у системы и т. п. Нелинейным системам свойственны саморазвитие, усложнение и совершенствование за счет потребления внешних ресурсов.

ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗАИМ

Выбросы корональной массы (СМЕ) и солнечные вспышки формируют состояние космической и, по-видимому, атмосферной погоды. В системе ЗАИМ им сопутствует комплекс физических процессов, называемый геокосмической бурей. Энергия и мощность возмущенного солнечного ветра может достигать 10^{17} Дж и 10^{14} Вт [1, 7, 19]. Вспышки и СМЕ сопровождаются ростом интенсивности оптического, рентгеновского, корпускулярного излучений и солнечного ветра. При этом в систему ЗАИМ внедряется энергия $\sim 10^{16}$ Дж, электронная концентрация N в D-области ионосферы увеличивается на 1–2 порядка, возникают сильные геомагнитные возмущения (их энергия и мощность $\sim 10^{10}$ Дж и ~ 500 ГВт), а также генерируются волновые возмущения (в частности, акустические волны, внутренние гравитационные волны — ВГВ) в атмосфере, ионосфере и магнитном поле.

Геокосмические бури. Этот термин объединяет магнитную, ионосферную, атмосферную и электрическую бури, вызванные воздействием на систему

ЗАИМ возмущенного солнечного ветра. Энергетика бури — велика [1, 7, 17, 20—22]. Используя наши измерения, автор проанализировал эффекты гео-космических бурь в диапазоне высот ~ 60 —1000 км, имевших место в течение цикла солнечной активности (1995—2006 гг.). Изучено вызываемое ими взаимодействие подсистем [17, 20—22]. Энергия солнечного ветра из магнитосферы по силовым линиям в виде электрических полей, потоков частиц и плазмы проникает в ионосферу и атмосферу, вызывая их нагрев, расширение и подъем. При этом возмущается система термосферных ветров, возникает перестройка химических реакций, генерируются и перемещаются волновые возмущения в атмосфере и ионосфере. Важно, что в волне $\Delta N/N$ может достигать 50 %. Такие волны относятся к нелинейным. В волновых пакетах (солитонах, уединенных волнах) преобладают гармоники с $T \approx 40$ —120 мин, их скорость составляет 0.5—1 км/с.

Важно, что во время бурь среднеширотная ионосфера приобретает свойства высокоширотной ионосферы (возникает диффузность, усиливается ионосферно-магнитосферное электрическое поле и др.).

Затмение Солнца (ЗС). Это явление также обладает значительной энергетикой и вызывает комплекс физико-химических процессов на всех высотах и перестройку атмосферы и геокосмоса в течение 2—4 ч. Усиливается атмосферно-ионосферное, ионосферно-магнитосферное и ионосферно-плазмосферное взаимодействия [1, 7, 8].

Автором проанализированы эффекты в системе ЗАИМ, сопровождавшие четыре частных ЗС, имевших место вблизи г. Харькова: 11 августа 1999 г. (степень покрытия 73 %), 31 мая 2003 г. (64 %), 3 октября 2005 г. (24 %) и 29 марта 2006 г. (77 %). Например, во время затмения Солнца 11 августа 1999 г. имели место значительные (на 10—50 %) уменьшения N при $z = 70$ —350 км, малоинерционное уменьшение температуры электронов, достигшее 400—600 К при $z = 200$ —700 км, и инерционное уменьшение температуры ионов T_i от 100 до 600 К на высотах 400—700 км. Высыпание электронов привело к росту N на высотах 81—87 км через 100—40 мин после начала затмения. Время становления T_i составляло 40—20 мин соответственно. Во время ЗС нисходящий поток плазмы из плазмосферы достиг значений $\sim 2.5 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а до и после ЗС восходящие потоки составляли $(1-2) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ [1, 7].

Солнечный терминатор (СТ). Граница раздела день-ночь является мощным источником возмущений в атмосфере и геокосмосе [1, 7, 9—11]. СТ приводит к перестройке ионосферно-плазмосферного и ионосферно-магнитосферного взаимодействий,

вызывает высыпание частиц из радиационного пояса в нижнюю ионосферу, генерирует волновые процессы в E- и F-областях ионосферы и т. д. Относительная амплитуда $\Delta N/N$ этих процессов может достигать 20—30 %. Продолжительность волновых возмущений 1—3 ч, период $T \approx 15$ —60 мин.

Метеорные потоки (МП). Приток метеорного вещества приводит к нагреву атмосферного газа, увеличению N в E-области ионосферы, существенному в ночное время, к генерации возмущений магнитного поля и ионосферного электрического поля и т. п. Эти эффекты относятся к эффектам интегрального типа. Результаты их расчета приведены в [1, 7].

Грозовая активность. Энергия и мощность молнии достигают 10^{10} Дж и 10^{10} Вт [1, 7]. Мощность $P_{\text{ем}}$ ОНЧ-излучения молнии составляет 10^9 — 10^7 Вт, плотность потока энергии в магнитосферу — 10—100 мкВт/м². Таких значений достаточно для перестройки ионосферно-магнитосферного взаимодействия, стимуляции высыпания заряженных частиц из радиационного пояса в результате развития циклотронной неустойчивости и генерации волн.

На Земле одновременно происходит около 2000 гроз, площадь каждого очага порядка 1000 км². При этом $P_{\text{ем}} \sim 1$ —10 ГВт. Мировая грозовая активность осуществляет «подпитку» подсистем в системе ЗАИМ, стимулируя взаимодействие между ними.

Локальные эффекты гроз сводятся к нагреву нижней ионосферы, высыпанию энергичных частиц, свечению атмосферы, генерации акустико-гравитационных волн (АГВ) и другим эффектам [1, 7].

Мощные атмосферные процессы. Наиболее ярким и мощным атмосферным процессом является тропический циклон (ТЦ). Рассмотрены три механизма воздействия ТЦ на верхнюю атмосферу и геокосмос: акустико-гравитационный, электромагнитный и квазистатический [6]. Вычислены плотности потока энергии инфразвуковых волн и ВГВ. Мощность излучения ВГВ для сильнейшего ТЦ достигает 10^{11} — 10^{12} Вт. В то же время мощность излучения ВГВ всеми горными системами планеты (мощность орографических возмущений) составляет в среднем около 10^{11} Вт.

Интересным результатом является возможность генерации возмущений геомагнитного поля не только на частоте ВГВ (что естественно), но и на удвоенной частоте в результате нагрева газа диссипируемой на высотах 80—200 км ВГВ. Важно, что этот вывод подкрепляется результатами наблюдений возмущения давления, имевших составляющие

с периодами T около 2 и 1 ч. При этом возмущения D-компонента геомагнитного поля содержали составляющие с периодами 1 и 0.5 ч. Время запаздывания вариаций геомагнитного поля на удвоенной частоте по сравнению с изменениями давления воздуха на поверхности должно быть около 55÷60 мин. Установлено, что наиболее вероятное значение периода ВГВ составляло 1.5 ч. Показано, что интенсивность излучения резко увеличивается в окрестности частоты, которой соответствует период 1.45 ч (при турбулентных пульсациях скорости ветра 6 м/с и радиусе вихря 500 км).

На высотах 100÷150 км ВГВ становятся нелинейными, здесь скорость частиц в волне сопоставима со скоростью звука. Имеет место диссипация энергии этих волн, что способствует возникновению целого комплекса динамических и тепловых эффектов. К ним относятся: всплывание нагретого воздуха, развитие гидродинамической неустойчивости в атмосфере, интенсификация турбулентности, возбуждение струйного течения и диссипативных структур, неустойчивость АГВ, стимулированная значительным увеличением электрического поля на ионосферных высотах, генерация АГВ-вихрей и др.

Возникновение электромагнитного излучения ТЦ обусловлено грозовой деятельностью в ядре циклона. Генерируемое при этом ОНЧ-излучение эффективно взаимодействует с запасенными в радиационном поясе электронами. Оценки триггерного эффекта высыпавшихся частиц выполнены в [6, 7].

Механизм генерации квазистатических возмущений электрического поля и результаты соответствующих наблюдений обсуждаются в [6, 7]. В этих работах указаны причины увеличения тока в приводной атмосфере. По-видимому, его рост обусловлен активизацией процесса образования и электризации аэрозолей в результате значительного усиления ветра в развившемся циклоне.

До последнего времени роль крупномасштабной термодинамической неустойчивости и электрических процессов в ТЦ недооценивалась. Расчеты автора показали, что электрические силы могут быть не только существенными, но и определяющими [6, 7]. Последняя ситуация может возникнуть в циклоне лишь тогда, когда плотность заряда $Q \geq 1$ мкКл/м³, а плотность тока $j_a \geq 0.1$ мкА/м². В этом случае воздействие ТЦ на ионосферу и магнитосферу тоже должно увеличиться, так как $j_a/j_{a0} \geq 10^5$. При достаточно больших значениях Q воздух в ТЦ ведет себя как плазмоподобная среда, помещенная во внешнее магнитное поле. В такой среде следует ожидать появления вихрей электромагнитной природы, волновых низкочастотных процессов, электрических структур, неустойчивос-

тей и т. д. В результате развития таких процессов возникают новые каналы воздействия циклона на ионосферу и магнитосферу.

Сильные землетрясения (ЗТ). Энергия сильнейшего ЗТ около 10^{19} Дж, мощность — 10^{17} Вт. Сейсмические процессы сопровождаются генерацией электромагнитного излучения в диапазоне частот $f \leq 1$ МГц, квазистатических электрических и магнитных полей, инфразвука и ВГВ. Их энергетика — значительна [1, 7]. Сильные землетрясения также вызывают комплекс процессов в системе ЗАИМ, которые носят крупномасштабный и глобальный характер. Примерами таких процессов являются: генерация и распространение волновых возмущений, стимулированное высывание электронов, усиление уровня шумового радиоизлучения, турбулизация атмосферы и ионосферы и др.

Вулканизм. Извержение вулканов (ИВ) относится к одному из высокоэнергичных источников, способных существенно повлиять на систему ЗАИМ. Энерговыведение для сильнейшего ИВ достигает 10^{20} Дж, а средняя мощность — 10^{15} Вт. Для взрывных вулканов в энергию воздушных волн переходит около 0.01 %, т. е. 10^{16} Дж, их мощность составляет 10^{14} — 10^{15} Вт. Примерно такая же энергетика ЗТ, сопровождающего ИВ.

Эффекты, возникающие при ИВ, отчасти подобны тем, что сопутствуют ЗТ. Однако есть и существенное отличие. ИВ приводит к выбросу большого (~ 10 — 100 км³) количества пепла, вулканических газов (прежде всего CO_2) и аэрозолей с размерами 0.1—1 мкм. Попад в стратосферу (высоты 20—30 км), эти частицы находятся там от 0.5 года до 3 лет. Выбросы CO_2 усиливают парниковый эффект. Запыление стратосферы способствует поглощению и рассеянию солнечного света, в результате чего поверхность Земли недополучает значительное (до 10^{23} — 10^{25} Дж) количество теплоты. На Земле наступает «вулканическая» зима. В системе ЗАИМ явление вулканизма относится к триггерным. В работах [1, 7] показано, что коэффициент триггерности достигает 10^6 .

Таким образом, извержения сильнейших вулканов приводят к существенной и длительной (~ 1 года) перестройке теплового (и не только теплового) режима в системе ЗАИМ.

АКТИВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В СИСТЕМЕ ЗАИМ

Активные эксперименты (АЭ) оказались удобными для изучения образования ЗАИМ как системы и взаимодействия его подсистем. При этом становится возможным дозировать величину энерговыведения, его время и место.

Воздействие мощного радиоизлучения (МР).

Этот источник оказывается наиболее удобным для проведения АЭ, он оказывает только электромагнитное воздействие на плазму и является экологически «чистым». Выполнен анализ измерений, проведенных нами в 1972—2000 гг. (более 3000 ч наблюдений [1, 7]). Для воздействия на систему ЗАИМ использовались установки, удаленные от места наблюдения (г. Харьков) на расстояния $R \approx 100, 700, 1100, 2000$ и 10000 км. Их эффективная мощность составляла 10 — 380 МВт, $f = 1$ — 8 МГц.

Автором экспериментально установлено и теоретически объяснено неизвестное ранее явление возникновения интенсивных (100—1000 %) крупномасштабных и слабых (1—10 %) глобальных аperiodических возмущений N в нижней ионосфере и волновых возмущений 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 взаимодействия в системе ЗАИМ и высыванием частиц из радиационного пояса, в средней ионосфере — с генерацией и распространением волн плотности с периодом 10—30 мин, продолжительностью 1—2 ч и скоростью 0.5—0.7 км/с. При этом $\Delta N/N = 1$ —10 % [1, 2].

Старты и полеты космических аппаратов. Ракеты с включенными двигателями оказывают на среду гидродинамическое, тепловое, электромагнитное, акустическое и химическое воздействия. В результате возникают геофизические, радиофизические, оптические и другие эффекты. Автором выполнен анализ наших измерений для более чем 400 стартов КА (более 20 типов ракет мощностью 10^7 — 10^{11} Вт) с 12 космодромов, 55 посадок КА и падений трех орбитальных станций [1, 7, 9, 12, 13, 16, 18]. Имели место и аварийные запуски КА. Установлено, что старты КА могут вызывать крупномасштабные и глобальные возмущения в системе ЗАИМ, перестраивать взаимодействия между ее подсистемами. Определены типы волн, переносящие возмущения.

Мощные взрывы. Автором проведен анализ результатов наших наблюдений, выполненных в 1980-х гг. Взрывы производились в СССР (полигоны Н. Земля, Семипалатинск, Капустин Яр), США (полигон Невада) и Китае [1, 7]. Энерговыведение при подземных ядерных взрывах (всего 55) изменялось примерно 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. Выполнен также анализ наблюдений за взрывом КА «Челленджер» 28 января 1986 г. в 08.39 UT у мыса Канаверал, химическим взрывом (0.12 кт) в Арза-

масе-16 4 июня 1988 г. в 05.40 UT и химическим взрывом (0.01 кт) в Павлограде 12 мая 1988 г. в 03.15 UT. В этих наблюдениях $R \approx 200\text{--}10000$ км. Лучшие других регистрировались возмущения с $v = 0.3\text{--}0.7$ км/с (в нижней и средней ионосфере соответственно) и только при $R \leq 1000$ км. Сравнительно редко наблюдались возмущения с $v = 2\text{--}4$ км/с при $R \sim 1000\text{--}10000$ км. Еще реже отмечались процессы с $v = 10\text{--}50$ км/с.

ЭФФЕКТЫ АВАРИЙ, КАТАСТРОФ И ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ ЗАИМ

Аварии на военных складах детально исследованы автором на примере событий возле г. Артемовск (2003 г.) и г. Мелитополь (2004 г.) [3, 4]. На складах в Артемовске хранилось 3.2 кт боеприпасов, прореагировало 1.7 кт, под Мелитополем — соответственно 91.6 и 18 кт. Радиус разлета боеприпасов и осколков в первом случае редко превышал 3—4 км, во втором — достигал 10—11 км. В целом величины эффектов взрывов в течение катастрофы под Мелитополем были примерно в 3—10 раз больше. Пожары были в десятки раз сильнее. Примерно во столько же раз были больше и экологические последствия [3—5].

В течение катастрофы 6—16 мая 2004 г. на складах вблизи г. Мелитополь энерговыделение составило около 20 ТДж. При взрывах разрушено и перемещено около 360 кт вещества. При этом образовано десятки кило тонн пыли, в том числе и порядка 0.1—1 кт аэрозолей (часто заряженных), заброшенных на достаточно большие высоты, где время их оседания составляет 1—10 сут. Масса разлетевшихся в зоне радиусом до 10 км останков боеприпасов превышала 10 кт. Взрывы привели к генерации акустического излучения с суммарной энергией около 14 ТДж, его средняя мощность была близка к 0.2—1.4 ГВт. В спектре акустического излучения преобладали составляющие с частотами порядка 1—10 Гц.

Суммарная энергия сейсмических волн, сгенерированных взрывами, не превышала 1—2 ГДж. Их средняя мощность составляла десятки — сотни киловатт.

Вблизи очага катастрофы напряженность атмосферного электрического поля должна была на 3—4 порядка превышать ее фоновое значение и составлять 0.1—1 МВ/м. Вариации индукции геомагнитного поля должны были достигать значений в несколько десятков пикотесла. Взрывы боеприпасов сопровождалась генерацией электромагнитного излучения в широком диапазоне частот.

Взрывы на складах привели к крупномасштабным интенсивным пожарам. Их горизонтальный и

вертикальный размеры достигали 100 и 300 м соответственно. Массы сгоревших материалов, дыма и сажи составили около 10000, 1000 и 500 т соответственно. Энерговыделение при пожарах и их мощность примерно равнялись 100 ТДж и 5 ГВт.

Пожары вызвали генерацию АГВ со средней мощностью 15 МВт и энергией 300 ГДж. Следовало ожидать усиления излучения вблизи частот 1.9 и 3 мГц, а также в диапазонах частот 0.02—0.2 и 0.01—1 Гц.

Массовые взрывы и пожары нарушили тепловой и динамический режим в системе подстилающая поверхность — атмосфера. Генерация, распространение и диссипация АГВ активизировали взаимодействие нижней и верхней атмосфер. Существовали и другие каналы воздействия процессов в приземной атмосфере на ионосферу и магнитосферу, т. е. на всю систему ЗАИМ.

Важнейший результат исследований заключается в подтверждении установленного ранее автором [2] факта возможности стимуляции вторичных, значительно более энергичных процессов. Они связаны с рассеянием аэрозолями и поглощением сажей солнечного излучения продуктами взрывов и горения, выброшенными в стратосферу, а значит, частичным экранированием земной поверхности. Важно, что коэффициент триггерности в случае описываемой катастрофы составлял $10^3\text{--}10^4$ [3, 4]. В результате экранирования солнечного излучения земная поверхность недополучила за 10 сут около $2 \cdot 10^{18}$ Дж энергии. Примерно такая же энергия выделилась в атмосфере. К счастью, такие нарушения энергетического баланса не имеют катастрофического значения ни для земной поверхности, ни для атмосферы.

Военные действия в Ираке (2003 г.). Результаты исследований [2, 7] показали, что воздействие на атмосферу в ходе современных региональных ядерных войн может быть значительным. Наиболее существенные по энергетике экологические последствия связаны с выбросами мелкой пыли, дыма и сажи, которые частично экранируют солнечное излучение. Энергия вторичных процессов на 3—6 порядков превосходит энергию первичного источника. Несмотря на это, вторичные процессы не приводят к катастрофическим последствиям, если военные действия не принимают затяжного характера.

Возникающие в приземной среде возмущения распространяются на большие (~ 1000 км) расстояния и охватывают не только нижнюю атмосферу, но и среднюю и верхнюю атмосферу, а также ионосферу с магнитосферой, т. е. всю систему ЗАИМ [1, 2].

На примере военных действий в Ираке показано, что мощность и энерговыделение отдельного город-

ского пожара достигали 10 МВт и порядка 1 ТДж. Суммарное энерговыделение было около 400 ТДж при средней мощности, близкой к 4 ГВт. При этом в атмосферу было выброшено около 1 кт дыма и 0.5 кт сажи [2].

Энергия и средняя мощность вторичных процессов, обусловленных частичным экранированием солнечного излучения, составили около 170 ПДж и 1.7 ТВт. Величина акустической энергии, сгенерированной городскими пожарами, достигала 1 ТДж при средней мощности 10 МВт.

Горение нефтяных скважин — самый интенсивный источник возмущения параметров околоземной среды и процессов в ней. Мощность, выделяемая при горении скважины в ходе военных действий в Ираке, составляла десятки ГВт, энерговыделение — десятки ПДж, а высота термика — 3 км. Суммарное количество сгоревшей нефти приблизилось к 40 Мт, энерговыделение — к 1000 ПДж при средней мощности около 1 ТВт. В результате горения нефтяных скважин (около 50 штук) в атмосферу было выброшено почти 4 Мт дыма и 2 Мт сажи. Массы этих выбросов сравнялись или даже превзошли (для сажи) массы дыма и сажи во всей атмосфере. Это привело к эффекту частичного экранирования солнечного излучения, из-за которого земная поверхность недополучила около 10^{22} Дж энергии солнечного излучения. Средняя мощность этого вторичного (триггерного) процесса составила около 7 ПВт. Горение нефтескважин сопровождалось генерацией АГВ с энергией около 4.5 ПДж и средней мощностью около 2 ГВт.

При пожарах на нефтехранилищах Ирака сгорело почти 1 Мт нефти, в атмосферу выброшено около 80 кт дыма и 40 кт сажи. Суммарное энерговыделение составило 30 ПДж при средней мощности 100 ГВт. Энергия и мощность вторичных процессов, связанных с экранированием солнечного излучения, составили $4 \cdot 10^{19}$ Дж и 0.1 ПВт. Горение нефтехранилищ сопровождалось генерацией АГВ с энергией около 100 ТДж и мощностью 0.3 ГВт. При пожарах в частотном спектре АГВ должно было иметь место усиление составляющих на частотах около 0.002, 0.1 и 1 Гц при среднем диаметре пламени 10 м.

В ходе военных действий при лесных пожарах может сгореть до нескольких Мт древесины. В атмосферу при этом будет выброшено сотни кт дыма и сажи. Суммарное энерговыделение от лесных пожаров может достичь десятков ПДж при средней мощности в несколько ТВт.

Кроме нарушения теплового и динамического режимов в системе подстилающая поверхность — атмосфера, к негативным экологическим последствиям приводят выбросы углеводородов (10÷100 % от фонового значения во всей атмосфере) и кислот

HCl, H₂SO₄ и HNO₃ (10 % от фонового значения во всей атмосфере). Такие выбросы следует признать если не катастрофическими, то по крайней мере недопустимыми.

Интенсивные пожары, выбросы наэлектризованной пыли и аэрозолей, инъекция радиоактивного вещества в результате использования боеголовок из слабо обогащенного урана, изменяя проводимость достаточно больших объемов атмосферного газа, должны приводить к существенному возмущению электрических параметров атмосферы над регионом ВД и глобальной электрической цепи в целом.

Значительная энергетика АГВ обуславливает нарушение режима взаимодействия нижней и верхней атмосфер, а также возникновение вторичных процессов. Имеют место и другие каналы воздействия (электрического и электромагнитного типов) процессов в приземной атмосфере на ионосферу и магнитосферу, а значит, и на всю систему ЗАИМ.

ВОЛНОВЫЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ КАНАЛЫ ОБМЕНА ЭНЕРГИЕЙ

Взаимодействие между подсистемами в системе ЗАИМ осуществляется при помощи волн различной физической природы (квазистатических полей) и потоков частиц. Так, из литосферы и приземной атмосферы в геосфероспоступает энергия в виде электромагнитного излучения, квазистатических электрических и магнитных полей, АГВ и т. п. В частности, вдоль магнитных силовых линий переносятся энергия ионосферных электрических полей и потоки холодной плазмы из ионосферы (в дневное время), вниз устремляются потоки высокоэнергичных частиц и потоки холодной плазмы (в ночное время). Пример расчета плотностей потоков энергии Π_i и Π ионосферного электрического поля E_i и выпадающих электронов с энергией 10—100 кэВ приведен в [1, 7, 14]. Важно, что Π_i и Π могут быть одного порядка.

Волновые процессы. Перенос возмущений от источников энерговыделения до места наблюдения осуществляется при помощи волн (как линейных, так и нелинейных вблизи от источника) [1, 7, 10, 11, 19]. Разновидностью последних есть ударные волны и солитоны.

Стимулированное выпадение частиц. Автором предложен достаточно универсальный и эффективный механизм выпадения частиц из радиационного пояса, связанный с замедлением электронов в электрическом поле поляризации $PE_p = E_i |\Delta N/N|$, ΔN — возмущение N в E -области ионосферы с горизонтальным размером L_\perp . При $E_i \approx 3$ 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, $\Delta \varepsilon_{\perp} \approx e E_{\perp} L_{\perp} \approx 0.3-3$ 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 $\Pi_{e,p}$ электронов и протонов. Оказалось, что $\Pi_e \approx 10^7-10^9$ м⁻²с⁻¹ [1, 7].

Второй эффективный механизм высыпания электронов связан с генерацией циклотронной неустойчивости. Число n энергичных частиц в силовой трубке и плотность w энергии ОНЧ-волн описывается нелинейными уравнениями, приведенными в [1, 7]. Например, при инжекции ОНЧ-энергии молнии с удельной мощностью $I_w = 0.1-1$ пВт/м³ имеем $n \approx 4 \cdot 10^{11}$ м⁻² и $\Pi_e \approx 2 \cdot 10^{10}-2 \cdot 10^{11}$ м⁻²с⁻¹.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обосновано, что образование ЗАИМ является сложной открытой динамической нелинейной системой. Сформулированы основные положения системной парадигмы.

2. Показано, что к важнейшим свойствам системы ЗАИМ относится появление триггерных механизмов высвобождения энергии. В ряде случаев коэффициент триггерности может достигать значений 10^5-10^{10} .

3. Продемонстрировано, что высокоэнергичные явления (землетрясения, вулканизм, мощные атмосферные процессы, грозы, терминатор, затмения Солнца, вспышки на Солнце, выбросы корональной массы, геокосмические бури и т.п.) вызывают комплекс процессов в системе ЗАИМ, приводят к перестройке характера взаимодействий подсистем, к накоплению и высвобождению энергии в них.

4. Установлены механизмы и каналы взаимодействия подсистем. Воздействие мощных источников на атмосферу, ионосферу и магнитосферу осуществляется, по крайней мере, по трем каналам: акустико-гравитационному, электромагнитному и электро- и магнитоквазистатическому, с которыми связаны генерация волн и полей соответствующей природы.

Заложены основы построения моделей главных процессов в системах тектоносфера — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ТАИМ) и океан — атмосфера — ионосфера — магнитосфера (ОАИМ).

5. Продемонстрировано, что подсистемы и вся система ЗАИМ в целом являются нелинейными.

6. Взаимодействие между подсистемами в системе ЗАИМ осуществляется при помощи волн раз-

личной физической природы, квазистатических полей, потоков частиц, тепла и т. п. Выявлены или отождествлены типы волн, переносящие возмущения в системе ЗАИМ 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 ЗАИМ. Их потоки — порядка 10^7-10^9 м⁻²с⁻¹.

7. Активные эксперименты оказались весьма эффективными для моделирования процессов в подсистемах и изучения механизмов их взаимодействия. Они показали ограниченность линейного описания реакции подсистем на мощное энерговыделение, позволили установить возможность возникновения крупномасштабных и глобальных возмущений при локальном и локализованном энерговыделении.

8. Крупномасштабные неядерные военные действия, а также аварии и катастрофы на военных складах и 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. в системе ЗАИМ в целом. Энергетика и экологические последствия соответствующих процессов могут быть значительными.

9. Системная парадигма должна стать основой теории, методом и методологией изучения системы ЗАИМ как сложного открытого диссипативного динамического нелинейного объекта.

1. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиопизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 59—106.
2. Черногор Л. Ф. Физические процессы в околосредной среде, сопровождавшие военные действия в Ираке (март—апрель 2003 г.) // Космічна наука і технологія.—2003.—9, № 2/3.—С. 13—33.
3. Черногор Л. Ф. Геофизические эффекты и геоэкологические последствия массовых химических взрывов на военных складах в г. Артемовске // Геофиз. журн.—2004.—26, № 4.—С. 31—44.
4. Черногор Л. Ф. Геофизические эффекты и экологические последствия пожара и взрывов на военной базе вблизи г. Мелитополь // Геофиз. журн.—2004.—26, № 6.—С. 61.
5. Черногор Л. Ф. Взрывы боеприпасов на военных базах — источник экологических катастроф в Украине // Экология и ресурсы.—2004.—№ 10.—С. 55—67.
6. Черногор Л. Ф. Тропический циклон как элемент системы Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 2/3.—С. 16.
7. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (Часть 1) // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697; Часть 2.—2007.—5, № 4.—С. 225—246.
8. Akimov L. A., Bogovskii V. K., Grigorenko E. I., et al. Atmospheric-Ionospheric Effects of the Solar Eclipse of May 31,

- 2003, in Kharkov // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2005.—45, N 4.—P. 494—518.
9. Burmaka V. P., Taran V. I., Chernogor L. F. Ionospheric wave disturbances accompanied by rocket launches against a background of natural transient processes // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2004.—44, N 4.—P. 476—491.
 10. Burmaka V. P., Taran V. I., Chernogor L. F. Wave-like processes in the ionosphere under quiet and disturbed conditions. 1. Kharkov incoherent scatter radar observations // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2006.—46, N 2.—P. 183—198.
 11. Burmaka V. P., Taran V. I., Chernogor L. F. Wave-like processes in the ionosphere under quiet and disturbed conditions. 2. Analysis of observations and simulation // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2006.—46, N 2.—P. 199—208.
 12. Burmaka V. P., Lysenko V. N., Chernogor L. F., Chernyak Yu. V. Wave-like processes in the ionospheric f region that accompanied rocket launches from the Baikonur site // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2006.—46, N 6.—P. 742—759.
 13. Chernogor L. F., Garmash K. P., Kostrov L. S., et al. Perturbations in the ionosphere following U. S. powerful space vehicle launching // *Radio Physics and Radio Astronomy*.—1998.—3, N 2.—P. 181—190.
 14. Chernogor L. F., Garmash K. P., Rozumenko V. T. Flux parameters of energetic particles affecting the middle latitude lower ionosphere // *Radio Physics and Radio Astronomy*.—1998.—3, N 2.—P. 191—197.
 15. Chernogor L. F., Rozumenko V. T. Wave processes, global- and large-scale disturbances in the near-earth plasma // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.*—2000.—N 3.—P. 514—516.
 16. Chernogor L. F., Kostrov L. S., Rozumenko V. T. Radio probing of the perturbations originating in the near-earth plasma from natural and anthropogenic energy sources // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.*—2000.—N 3.—P. 497—500.
 17. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Lysenko V. N., Taran V. I. Dynamic processes in the ionosphere during magnetic storms from the Kharkov incoherent scatter radar observations // *Int. J. Geomagn. Aeron.*—2007.—7, GI3001.—doi:10.1029/2005GI000125.
 18. Garmash, K. P., Kostrov L. S., Rozumenko V. T., et al. Global ionospheric disturbances caused by a rocket launch against a background of a magnetic storm // *Geomagnetism and Aeronomy*.—1999.—39, N 1.—P. 69—75.
 19. Grigorenko E. I., Lazorenko S. V., Taran V. I., Chernogor L. F. Wave disturbances in the ionosphere accompanying the solar flare and the strongest magnetic storm of September 25, 1998 // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2003.—43, N 6.—P. 718—735.
 20. Grigorenko E. I., Lysenko V. N., Taran V. I., Chernogor L. F. Specific features of the ionospheric storm of March 20—23, 2003 // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2005.—45, N 6.—P. 745—757.
 21. Grigorenko E. I., Lysenko V. N., Taran V. I., et al. Dynamic processes in the ionosphere during the strongest magnetic storm of May 30—31, 2003 // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2005.—45, N 6.—P. 758—777.
 22. Panasenko S. V., Chernogor L. F. Event of the November 7—10, 2004 magnetic storm in the lower ionosphere // *Geomagnetism and Aeronomy*.—2007.—47, N 5.—P. 608—620.

PHYSICS AND ECOLOGY OF THE EARTH-ATMOSPHERE-IONOSPHERE-MAGNETOSPHERE SYSTEM

L. F. Chernogor

The Earth-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system is proved to be a complex open dynamical nonlinear system. The basic ideas of the system paradigm are stated. The high-energy phenomena in the system are shown to be a cause of a myriad of, as a rule, nonlinear processes and of the rearrangement in the character of subsystem coupling. Ecological consequences of accidents, catastrophes, and regional wars in the Earth-atmosphere-ionosphere-magnetosphere system are discussed.

А. А. Логинов, В. А. Ткаченко, О. К. Черемных

Институт космических исследований НАНУ и НКАУ, Киев.

О гидродинамическом механизме смены фаз динамо-цикла Солнца

Представлено 25.06.07

Запропоновано модель механізму зміни фаз генерації магнітного поля Сонця. Суть механізму згідно запропонованої моделі полягає в наступному. Через втрату стійкості тороїдального диференціального обертання Сонця при досягненні порогового значення залежності кутової швидкості від радіуса та широти $\Omega(r, \theta)$ виникає колоїдальна течія та пов'язаний з нею динамо-процес, який породжує змінне магнітне поле Сонця. Дія на колоїдальну течію сили Коріоліса гальмує диференціальне обертання, наслідком чого буде зміна профілю $\Omega(r, \theta)$ та порушення умови нестійкості. Це призводить в свою чергу до зникнення колоїдальної течії і припинення динамо-процеса. Потім диференціальне обертання відновлюється, динамо-процес поновлюється та при досягненні порогового значення кутової швидкості знову виникає зародження змінного магнітного поля Сонця.