
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Е.С. Иванов¹, А.К. Муртазов²

¹Естественно-географический факультет
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
ул. Свободы, 46, Рязань, Россия, 390000

²Естественно-географический факультет, астрономическая обсерватория
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
ул. Свободы, 46, Рязань, Россия, 390000

Сформулированы цели и задачи экологии околоземного пространства. Описан современный взгляд на природу процессов в биосфере, вызванных космическими воздействиями.

Околоземное космическое пространство (ОКП) уже окончательно считается неотъемлемой частью нашей планеты — глобальной составляющей окружающей биосферы среды.

ОКП в связи с этим внесено в закон РФ «Об охране окружающей среды» 2002 г. (статья 4 «Объекты охраны окружающей среды») как объект охраны. Вопросы контроля и прогноза его состояния приобретают особое значение для современной цивилизации.

Давая определение экологии ОКП как науки, следует отметить, что экология на современной стадии своего развития является наукой, призванной объединить, синтезировать совокупность научных знаний о биосфере на основе изучения физических процессов в окружающей среде [12]. С другой стороны, экология как наука в широком смысле изучает взаимосвязи между биотой и окружающей ее средой. Отсюда следует, что под экологией ОКП можно понимать комплексную науку о физических процессах в ближнем космосе и механизмах их воздействия на биосферу [9].

Основными процессами в ОКП, определяющими его состояние, являются 1) процессы взаимодействия геомагнитного поля и атмосферы с полями и частицами, определяющие «космическую погоду»; 2) процессы, связанные с пролетом через магнитосферу и атмосферу метеороидов различных скоростей и размеров, а также с наличием в ОКП искусственных объектов и техногенного космического мусора; 3) процессы, связанные с естественным и техногенным воздействием на ближний космос со стороны Земли, в том числе с космической деятельностью человечества.

Исследования природы процессов, возникающих в биосфере в результате космических воздействий, главным образом связаны с изучением воздействия Солнца, галактических электромагнитного и корпускулярного потоков. Построен целый ряд схем воздействия солнечной активности на биосферу через компоненты околоземного пространства [2; 1; 3; 14]. Они показывают, что солнечная активность может оказывать влияние на биосферу как через возмущения природного геомагнитного поля, так и посредством других физических агентов.

Несомненно, определенное значение имеют вариации приземного ультрафиолетового излучения около 290 нм, происходящие вследствие динамических изменений в озоновом слое.

С другой стороны, поскольку гелиофизические факторы влияют на ход важных и широко распространенных физико-химических процессов (в частности, протекающих в водных растворах), они должны воздействовать на многие стороны биологических явлений, что находит отражение в соответствующих изменениях показателей жизнедеятельности большинства живых организмов [4].

Для спорадических возмущений солнечного происхождения (вспышек, внезапных магнитных бурь и т.д.) дело обстоит так, будто в среде обитания появляется какой-то сигнал, на который реагирует организм. Свойства этого сигнала таковы, что он сопутствует и вспышкам, и магнитным бурям, возрастает с возрастанием географической широты, имеет сезонную зависимость [3].

Этот сигнал можно ассоциировать с микропульсациями магнитного поля Земли. Они подразделяются на два класса: почти синусоидальные P_c и широкополосные P_i . Их важным свойством является зависимость амплитуды от широты: с увеличением широты и приближением к зоне максимальной повторяемости полярных сияний амплитуда колебаний растет (причем, обратно пропорционально частоте колебаний). Спектр частот геомагнитных пульсаций заключен в пределах от нескольких мГц — 1 кГц, амплитуда — максимум несколько гамм [7].

Со стороны более высоких частот, чем у микропульсаций, ионосфера непрозрачна. Уровень напряженности геомагнитного поля здесь определяется на средних широтах атмосфериками, на высоких — УНЧ излучением магнитосферы, которое частично приходит из ионосферы. Со стороны более низких частот к полосе микропульсаций примыкают области периодических и циклических вариаций геомагнитного поля, связанные частично с собственными колебаниями Земли, а также частично с собственными колебаниями Солнца с периодом 2 часа 40 мин.

Есть основания считать, что высокочастотная область биоэффективных частот (~ГГц) обусловлена преимущественно вынужденным резонансом микромасштабных структур организма (ионы, аминокислоты, мембраны и т.п.), а низкочастотная (ОНЧ-УНЧ диапазон) — параметрическим резонансом крупномасштабных систем (сердце, мозг, кровеносная система и т.п.). Биоэффективные частоты определяются собственными частотами соответствующих систем организма и могут быть вычислены при знании масштабных факторов и характерных скоростей в рассматриваемой системе. Сравнение вычисленных биоэффективных частот с экспериментально выявленными показывают их хорошее соответствие друг другу [13].

Частоты биоритмов человеческого организма лежат, главным образом, в инфразвуковой и суперинфразвуковой области [8]. Биотоки мозга имеют выделенные резонансные частоты: альфа-ритм — 8—13 Гц; бета-ритм — 14—30 Гц; гамма-ритм — более 30 Гц; тэта-ритм 4—7 Гц; дельта-ритм — 1,5—3 Гц. Период глотательных движений составляет ~4 с, цикл сердечной деятельности — 0,8 с, период вдоха-выдоха — около 6 с, период, соответствующий частоте распро-

странения нервных импульсов — около 0,02 с, средний период изменения биотоков в мышцах — 0,03 с. Естественное электромагнитное поле у поверхности Земли в области сверхнизких частот также имеет четко выделенную резонансную структуру. Это шумановские резонансные полости, образованные поверхностью Земли и нижней границей ионосферы (*D*- и *E*-области): $f_1 = 10,6$; $f_2 = 18,3$; $f_3 = 25,9$; $f_4 = 33,5$; $f_5 = 41,1$ Гц. Параметры среды обитания с разными временными масштабами регулярно изменяются в цикле солнечной активности. При вспышках на Солнце, сопровождающихся мощными потоками электромагнитного излучения, энергичных частиц (протонов и электронов) и вызывающих магнитные и ионосферные бури, изменяются электромагнитные свойства нижней ионосферы. Это приводит к изменению резонансных частот полости и, следовательно, к нарушению равновесия связанных колебательных систем «человек — среда обитания». Люди с нарушенной системой адаптации (это в основном дети и пожилые люди) могут испытывать физический и психический дискомфорт. Во время геомагнитных бурь непосредственным фактором влияния на среду обитания являются не возмущения геомагнитного поля, а высыпания в ионосферу Земли высокоэнергичных электронов, которые изменяют низкочастотные электромагнитные поля в среде обитания. Поскольку эти поля проникают во внешнюю ионосферу, то следует ожидать их влияния на организм человека, дополнительно к прямому воздействию корпускулярных потоков.

В биосфере Земли последствия взаимодействия связаны с динамикой популяций животных, эпидемий, эпизоотий, количеством сердечно-сосудистых заболеваний.

Сейчас не вызывает сомнений что основным агентом-переносчиком перепадов космической погоды в биосферу являются электромагнитные поля низких и крайне низких частот. Особенно важны здесь квазипериодические вариации параметров этих полей с периодами, близкими к периодам важнейших биологических ритмов [4].

Как в геофизических, так и в биологических процессах периоды колебаний менее суток, также как и колебательные процессы в других диапазонах спектра биологических ритмов, могут представлять собой синхронизованные с внешними факторами автоколебания. Основными здесь являются собственные колебания атмосферы-ионосферы (12 часов и гармоника), гравитационные собственные колебания Солнца (существование которых, по мнению некоторых специалистов, еще окончательно не доказано) — 180 мин, 160 мин и 120 мин, близкие к высоким гармоникам суток и собственным сейсмическим колебаниям Земли (60 мин, 44 мин и др.). В среде обитания эти колебания часто присутствуют в микровариациях атмосферного давления и низкочастотных электромагнитных полей. Согласно современным биофизическим представлениям, вариации этих экологических переменных воспринимаются организмами и могут сыграть роль «датчика времени» для некоторых биологических микроритмов. Эти соображения могут быть полезны при интерпретации ряда биологических результатов. Возможно, внутрисуточные периодичности риска заболеваемости соответствуют одному из подобных геофизических ритмов. Период 120 мин найден в активности мелких грызунов, наблюдаемых на обширных территории-

ях. Некоторые биологические микроритмы, вероятно, представляют собой свободные автоколебания, никак не связанные с временной структурой среды обитания. Не исключено, что близость α -ритма мозга человека к фундаментальной частоте ионосферного волновода (8 Гц) не является случайной [3].

Наиболее энергетически заметным является процесс генерации инфразвуковых колебаний в атмосфере как следствие взаимодействия солнечного ветра с плазмой ОКП и атмосферой [11].

Анализ спектров инфразвука показывает наличие частот с периодами характерными для солнечной активности 27 суток, 24 часа, 12 часов. Энергия инфразвука возрастает при падении солнечной активности.

Сценарий связи солнечной активности с инфразвуком в атмосфере сводится к схеме рис. 1 [11]. Изменения солнечной радиации приводят к модуляции галактических космических лучей. Этот модулированный поток при взаимодействии с нижней атмосферой изменяет ее прозрачность путем образования аэрозолей и вариаций малых составляющих атмосферы (NO_x , H_2O , O_3 и др.). Изменения оптической прозрачности приводят к пространственным вариациям поглощения солнечной энергии в атмосфере. Вследствие этого в различных зонах атмосферы образуются температурные градиенты и тепловые неустойчивости, порождающие инфразвуковые колебания. Образовавшийся инфразвук может влиять на флуктуации интенсивности взаимодействия космических лучей с атмосферными аэрозолями. На рис. 1 это отображено введением обратной связи. Инфразвуковые колебания могут усилить модуляцию прозрачности и эффект оптико-акустического преобразования в атмосфере.

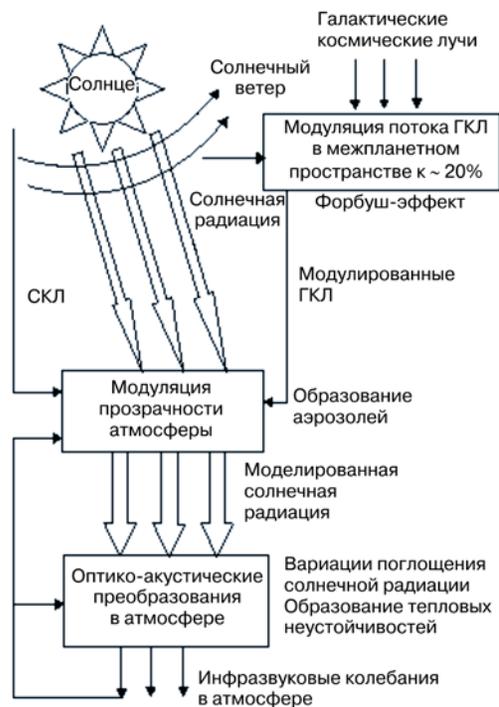


Рис. 1. Модель образования инфразвуковых акустических колебаний в атмосфере

Подобный эффект может проявляться в периоды действия интенсивных метеорных потоков. Здесь роль центров конденсации паров воды играют метеорные частицы микронных размеров, медленно оседающие в верхней атмосфере.

Кроме того, в нижней части области E на высотах 85—95 км в период действия активных метеорных потоков на ночной стороне Земли появляется спорадический слой E_s , образованный ионами металлов Mg^+ , Fe^+ , Ca^+ с примесью Si^+ , Na^+ , Al^+ , Ni^+ и являющийся источником электромагнитного излучения. Плотность потока энергии колеблется в пределах 10^{-5} — 10^{-7} Вт/м². Квазичастота пульсаций определяется частотой пролета метеоров и, например, для Персеид составляет 0,02—0,05 Гц [9].

С космической деятельностью человечества связана, главным образом, проблема техногенных отходов в ОКП, хотя можно найти некоторые примеры попадания сюда отходов и других видов антропогенного происхождения.

Эта проблема становится все более актуальной в связи с рядом факторов [1]:

- общим увеличением загрязнения ОКП;
- проблемами безопасности пилотируемых космических полетов;
- столкновениями космических объектов друг с другом или с техногенным мусором с образованием новых осколков;
- возможностью непрогнозируемого выпадения космических объектов и техногенных осколков на Землю, химическим, биологическим, радиоактивным заражением ее поверхности и атмосферы;
- разрушением космических объектов в результате взрывов на орбите и взрывов их ракет-носителей в верхних слоях атмосферы при старте, прямо воздействующих на земную природу;
- заражением верхней атмосферы, ионосферы, биосферы продуктами сгорания ракетного топлива при запусках космических объектов;
- возникновением помех астрономическим наблюдениям и различным экспериментам в ОКП;
- изменением свойств ОКП, верхней атмосферы и ионосферы Земли, что может привести к необратимым изменениям в биосфере.

Существует мнение, что элементы космического мусора при попадании в ОКП, атмосферу, на поверхность Земли выступают не только как материально-энергетические потоки, но и носители определенной информации, к примеру, метеороиды являются носителями информации о ранних стадиях развития Солнечной системы [6].

Экологические последствия воздействия космической деятельности на мезосферу и ионосферу исследованы явно недостаточно. Известны кратковременные воздействия на содержание озона в атмосфере и электрические параметры ионосферы (озоновые дыры, изменение концентрации ионов в различных слоях ионосферы), обычно приписываемые реакциям озоносферы и ионосферы с газовыми компонентами выбросов ракетных двигателей. Однако твердые частицы (Al_2O_3 — озон, щелочные металлы — ионы) также могут воздействовать на состав и характеристики этих атмосферных слоев. В ближнем космосе влияние твердых частиц на безопасность работы космических аппаратов является определяющим.

Поток твердых частиц естественного происхождения, в основном, метеоров, имеет порядок по некоторым оценкам до 10^4 тонн/год, но так как время жизни метеорных частиц в ближнем космосе невелико — порядка суток, то их концентрации малы и сильно варьируют во времени и в пространстве. Поток твердых частиц антропогенного происхождения значительно меньше потока метеоритов, 10^2 — 10^3 тонн/год, но из-за большого времени жизни их концентрация в ближнем космосе, особенно на высотах преимущественных орбит космических аппаратов, во много раз превосходит концентрацию метеоритных частиц.

Очевидно, что постепенно образуются слои накопления пылевой материи на определенных высотах. В последние годы возросла и стала сравнимой с потоком метеоритной пыли интенсивность стока твердых частиц техногенного происхождения в атмосферу Земли. Значительная часть этих частиц при вхождении в более плотные слои атмосферы сгорает. Продукты сгорания образуют рыхлые агломераты фрактального типа, содержащие окислы металлов с высокой реакционной способностью.

Заборы проб аэрозолей с помощью ракетных и аэростатных импакторов свидетельствуют о значительном, повышенном содержании таких частиц в атмосферных слоях выше 20 км.

С пылевыми частицами в атмосферу Земли возвращаются также радиоактивные компоненты техногенного происхождения и токсичные вещества, образующиеся при сгорании ракетного топлива и разрушении космических аппаратов.

С накоплением техногенного материала в ближнем космосе проблема влияния потока вещества, возвращающегося на Землю, все более обостряется. Возможно, изменение радиационного режима верхней атмосферы, изменения характера аэрономических процессов и процессов фазовых переходов воды в средней и нижней атмосфере могут глобально повлиять на климат и другие условия существования биосферы и человека на Земле [5].

При выборе параметров, характеризующих техногенные воздействия, выделяют две группы. К первой относятся концентрации компонентов, непосредственно загрязняющих ближний космос. Эти компоненты поступают в околоземное пространство в результате производственной деятельности человека (фреоны, окислы азота, хлора, изотопы радиоактивных элементов и др.), а также в результате запусков ракетно-космических систем. Сюда же относятся электромагнитные излучения техногенного происхождения, изменяющие состояние ионосферы и магнитосферы Земли. Ко второй группе относятся параметры, характеризующие состояние верхней атмосферы, ионосферы, магнитосферы, претерпевающие значительные изменения в результате техногенного воздействия, что в результате обратных связей воздействует на природу планеты [5].

Интенсивность всех групп техногенных воздействий с развитием цивилизации и ее деятельности по освоению ОКП заметно возрастает [10; 12].

В заключение можно отметить следующее. Взаимодействие околоземной среды с различными факторами естественного происхождения происходит в течение всей эволюции Земли. Геофизика не имеет данных о том, что когда-либо ОКП под действием естественных причин полностью изменяло свойства и пе-

реходило в состояние с совершенно новыми параметрами, резко изменяя свое воздействие на биосферу [9].

Основными причинами, которые могут необратимо вывести ОКП из состояния динамического равновесия и, соответственно, оказать непредсказуемое влияние на биосферу, могут стать техногенные воздействия, уровень которых постоянно нарастает и прямо зависит от экспоненциального роста потребления энергии человечеством и его космической деятельности. Это и обуславливает нарастающий интерес к проблемам экологии ближнего космоса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Адушкин В.В., Козлов С.И., Петров А.В.* Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую среду. Справочное пособие. — М.: Анкид, 2000.
- [2] *Владимирский Б.М., Кисловский Л.Д.* Солнечная активность и биосфера. — М.: Знание, 1982. — № 4.
- [3] *Владимирский Б.М., Темуриянц Н.А., Мартынюк В.С.* Космическая погода и наша жизнь. — Фрязино: Век-2, 2004.
- [4] *Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. — М.: ВИНТИ, 1995.
- [5] *Ивлев Л.С.* Причины и механизм возникновения космического мусора // *Экология космоса. Материалы научных семинаров.* — СПб., 2001. — С. 20—21.
- [6] *Казначеев В.П., Спирин Е.А.* Космопланетарный феномен человека: проблемы комплексного изучения. — Новосибирск, 1991. — С. 36—57.
- [7] *Ларин И.К.* Химия и алхимия озонового слоя // *Наука и жизнь.* — 2001. — № 1.
- [8] *Мазур И.И., Иванов О.П.* Опасные природные процессы. — М.: Экономика, 2004.
- [9] *Муртазов А.К.* Экология околоземного космического пространства. — М.: Физматлит, 2004.
- [10] *Рыхлова Л.В.* Проблемы околоземной астрономии // *Околоземная астрономия (космический мусор).* — М.: Космосинформ, 1998. — С. 8—16.
- [11] *Сорока С.А., Калина Б.И., Мезенцев В.П., Каратаева Л.М.* Инфразвук в атмосфере и его связь с космическими и геосферными процессами. — 2004. <http://isnlviv.ua>
- [12] *Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е.* Общая и экологическая геофизика. — М.: Физматлит, 2005.
- [13] *Хабарова О.В.* Параметрический резонанс как возможный механизм влияния космической погоды на биообъекты: Материалы Международного семинара «Биологические эффекты солнечной активности». — Пушино, 2004.
- [14] *Koskinen H. et al.* Space Weather Effects Catalogue // *ESA Space Weather Study.* — 2001, Issue 2.2. January 2.

MODERN PROBLEMS OF CIRCUMTERRESTRIAL SPACE ECOLOGY

E.S. Ivanov, A.K. Murtazov

The Essenin Ryazan State University
Svobody str., 46, Ryazan, Russia, 390000

Aims and objectives of circumterrestrial space ecology are represented. The modern view of the nature of biosphere processes caused by space influence is described.