

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1986/5

Л.С.Новиков
Н.Н.Петров
Ю.А.Романовский

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ
КОСМОНАВТИКИ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

5/1986

Издается ежемесячно с 1971 г.

Л. С. Новиков,
кандидат физико-математических наук

Н. Н. Петров,

Ю. А. Романовский,
кандидат физико-математических наук

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОСМОНАВТИКИ

**в приложении этого номера:
НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ КОСМОНАВТИКИ**



Издательство «Знание» Москва 1986

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Освоение космоса: перспективы и проблемы	6
Сферы, которые нас окружают	11
В космосе становится тесно	16
Космические старты с точки зрения экологии	23
Что больше всего угрожает озонному слою?	30
Электромагнитный эфир во времена Фарадея и сегодня	35
Уикэнд в космосе	39
Экспериментальная экология околоземной среды	43
Мониторинг околоземного пространства	47
«Звездные войны» — экологическая катастрофа	52
Заключение	59
Рекомендуемая литература	61
НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ КОСМОНАВТИКИ	62

Новиков Л. С. и др.

Н73 Экологические аспекты космонавтики/. (Л. С. Новиков, Н. Н. Петров, Ю. А. Романовский).— М.: Знание, 1986.— 64 с., ил.— (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 5).

11 к.

Выход человеческой деятельности за пределы родной планеты расширил понятие экологии среды обитания вплоть до околоземного космического пространства. Антропогенная «нагрузка» на околоземную среду обусловлена преимущественно влиянием наземной производственной деятельности и в будущем возрастет в результате развития перспективных транспортных космических систем и хозяйственного освоения космоса. В то же время развитие космических средств позволило с большей полнотой осуществлять экологический контроль за биосферой. Об этих экологических аспектах и рассказывается в данной брошюре.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся современными проблемами космонавтики и естествознания.

3607000000

ББК 39.6

ВВЕДЕНИЕ

Дождливой осенью 1985 г., когда авторы работали над этой брошюрой, в толпе москвичей, спешащих по своим делам под очередным дождем, нет-нет да и можно было услышать сказанное, скорее, в шутку, чем всерьез: «Опять спутник, наверно, запустили — погоду испортили». Людям всегда было присуще стремление дать объяснение различным отклонениям погоды от «нормы», а попросту говоря, от неких средних погодных условий, наблюдаемых на протяжении весьма ограниченного в историческом масштабе отрезка времени.

Естественно, что для подобных объяснений привлекались и привлекаются некоторые новые виды человеческой деятельности, масштабно и зримо входящие в нашу жизнь. Уместно вспомнить, что в прошлом весьма нелепые высказывания в связи с возможным влиянием на погоду раздавались, например, в адрес радио. Во всяком случае, известно, что в 1928 г. английское акционерное общество «Радиопередача» было вынуждено обратиться в Английское метеорологическое общество с просьбой «...опровергнуть уверенность среди широких кругов населения, что радио вызывает ухудшение погоды, и снять с радиопередач тяжкое обвинение о причастности к дурной погоде нынешнего лета».

Сразу же надо сказать, что искусственные спутники Земли никакого влияния на погоду не оказывают. И если уж обсуждать космические полеты в связи с погодой, то прежде всего следует говорить о той ценнейшей метеорологической информации, которую получают с помощью спутников и при работе космонавтов на борту орбитальных станций. Для нас стали привычными космические снимки облачного покрова, показываемые по Центральному телевидению в связи с очередным прогнозом погоды. Не вызывает удивления прямое об-

ращение из телевизионной студии к космонавтам, работающим на борту орбитальной станции, с вопросом о вероятности солнечной погоды в ближайшие выходные дни.

Кроме того, космическая техника позволяет человеку взглянуть на Землю со стороны, воочию ощутить ограниченность нашей планеты и необходимость бережного обращения с ее ресурсами. Не случайно именно в космическую эру родилось образное выражение «космический корабль Земля», на котором земляне путешествуют с ограниченными запасами воздуха, воды и пищи.

Надо сказать, что антропогенные воздействия, связанные с влиянием деятельности человека на погоду, климат и в более широкой постановке на окружающую природную среду, в ряде случаев становятся сейчас сопоставимыми с планетарными масштабами естественных природных процессов¹. Идет постепенное загрязнение Мирового океана, нарушается естественный влагооборот, происходят, хотя пока и незначительные, изменения в составе атмосферы и т. п.².

Наблюдения из космоса за состоянием биосферы Земли, исследования природных ресурсов, лесных и сельскохозяйственных угодий занимают одно из центральных мест в прикладной космической деятельности. В ближайшие годы эти направления получают дальнейшее развитие, а в будущем ракетно-космическая техника в определенной степени поможет решить проблему истощения природных ресурсов за счет выноса некоторых вредных для биосферы производств в космическое пространство, удаления неперерабатываемых отходов за пределы Земли и размещения в космосе крупных энергетических и сырьевых комплексов.

Все это дает основание говорить о том, что космическое пространство постепенно станет своеобразной частью среды обитания и деятельности человека, произойдет расширение содержания понятия «окружающая природная среда» с включением в это понятие околоземного космического пространства. Таким образом, уже сейчас идет процесс экологизации космоса, под которым понимается «расширение сферы обитания человека, его

¹ См.: Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс. Л., Гидрометеониздат, 1977.

² См.: Споры о будущем: окружающая среда. М., Мысль, 1983.

взаимодействия с природой до космических масштабов, выход сферы взаимодействия общества и природы за пределы планеты... процесс освоения, «социализации» Вселенной»¹.

С другой стороны, сама космическая техника способна также вызывать определенные возмущения в окружающей космической среде. Это происходит за счет поступления продуктов сгорания ракетного топлива в атмосферу при запусках космических аппаратов, за счет выбросов различных газообразных, жидких и твердых веществ с космических аппаратов при их функционировании на орбитах и при перемещении в космическом пространстве и т. д. Однако имеющиеся данные показывают, что в настоящее время суммарное воздействие на атмосферу, связанное с космической деятельностью человека, значительно меньше влияния, обусловленного его хозяйственной деятельностью на Земле.

С целью изучения проблемы антропогенных воздействий на околоземное космическое пространство, связанных с деятельностью человека как на Земле, так и в космосе, в 1976 г. по решению КОСПАР (Комитет по космическим исследованиям при Международном совете научных союзов) была создана комиссия по рассмотрению подобных возможных вредных воздействий на космическую среду. На конференции КОСПАР в 1979 г. этой комиссией были сообщены основные направления проводимых исследований, а в 1982 г. опубликованы некоторые предварительные результаты исследований по проблеме антропогенных воздействий на околоземное космическое пространство².

В настоящее время эти исследования приобретают все более широкий характер. Более того, проблему антропогенных воздействий на околоземное космическое пространство можно рассматривать как составную часть общей проблемы взаимодействия человечества с окружающей природной средой, т. е. проблемы, от правильного и своевременного решения которой в значительной степени зависит будущее человечества. Причем, как отмечает председатель Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды

¹ Урсул А. Д. Экологические перспективы и космонавтика. — Земля и Вселенная, 1976, № 2, с. 32.

² См.: Advances in Space Research, 1982, v. 2, № 3.

Ю. А. Израэль, «решение этой проблемы заключается не в ограничении развития человеческого общества, а в оптимизации его отношений с природой, в разумном преобразовании природы, рациональном использовании ее ресурсов в интересах нынешнего и будущего поколений»¹. Это в полной мере относится к экологическим аспектам развития космонавтики.

Настоящая брошюра посвящена рассмотрению различных аспектов проблемы антропогенных воздействий на околоземное пространство. Научная терминология в этой области пока не вполне устоялась. В брошюре для обозначения комплекса вопросов, связанных с антропогенными воздействиями на околоземное космическое пространство, иногда будет использоваться термин «экология космического пространства», который, возможно, не является бесспорным. Этот термин следует отличать от понятия космической экологии, под которым подразумевается упоминавшееся уже использование космических средств для исследования и контроля экологической обстановки в биосфере. Этот важный вопрос также затрагивается в брошюре.

ОСВОЕНИЕ КОСМОСА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ

На заре космической эры, в 60-х годах, состоялось несколько научных симпозиумов, участники которых пытались определить перспективы развития космонавтики. Специалисты разных областей, расходясь в деталях воззрений на конкретные пути развития исследований и освоения космического пространства, были единодушны в том, что в условиях мирного развития цивилизации освоение космоса открывает принципиально новые возможности для повышения научно-технического потенциала человечества². В 70-х годах были выдвинуты некоторые принципиально новые идеи и получены новые экспериментальные данные, определившие пути дальнейшего освоения космического пространства.

Основной тенденцией в освоении околоземного космического пространства, отчетливо проявившейся в 70-е

¹ Израэль Ю. А. Проблемы охраны природной среды и пути их решения. Л., Гидрометеониздат, 1984.

² См.: Космическая эра (прогноз на 2001 г.). М., Мир, 1970.

годы, стало решение широкого круга прикладных задач с помощью самой разнообразной космической техники. К настоящему времени уже созданы и интенсивно эксплуатируются различные космические системы хозяйственного назначения: спутниковые системы связи, системы спутниковой метеорологии, навигации, разведки полезных ископаемых и т. д. Многие практические задачи сегодняшнего дня просто не могут быть решены без применения космических систем.

Мы не будем останавливаться здесь на задачах в области исследования и охраны биосферы Земли, решаемых с помощью космических систем, поскольку эта тема рассматривается дальше. Отметим лишь, что наблюдения, производимые с помощью спутников и с борта орбитальных станций, позволяют изучать состояние Мирового океана и атмосферы Земли, оценивать степень загрязненности сточных вод, следить за состоянием почв, посевов и лесов на обширных территориях земной поверхности, дают богатую информацию о сырьевых ресурсах планеты¹.

Дальнейшее развитие космонавтики, безусловно, связано с использованием, совершенствованием и созданием качественно новых долговременных научно-исследовательских орбитальных станций многоцелевого назначения².

В связи с созданием модульных долговременных орбитальных станций нового поколения и необходимостью сооружения других крупногабаритных космических конструкций (например, многоцелевых космических платформ, орбитальных радиоастрономических комплексов и т. д.)³ все большую актуальность приобретает проведение в космосе строительно-монтажных работ. И в ближайшем будущем такие работы, безусловно, получат широкое развитие. Собственно, некоторые виды строительно-монтажных и ремонтно-профилактических работ в космическом пространстве уже осуществлены на прак-

¹ См.: Коваль А. Д., Тюрин Ю. А. Космос — Земле. М., Знание, 1979.

² См.: Береговой Г. Т. Долговременные орбитальные станции многоцелевого назначения — сегодняшний и завтрашний день советской космонавтики. — Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации. М., Наука, 1984.

³ См.: Гвамичава А. С., Кошелев В. А. Строительство в космосе. М., Знание, 1984.

тике. Например, такие работы были выполнены советскими космонавтами на борту станций «Салют-6» и «Салют-7».

Надо отметить, что исследования в области космической технологии и производства на борту орбитальных станций закладывают основы для создания в будущем космических промышленных предприятий. В этой области на борту орбитальных советских станций выполнено огромное количество экспериментов по получению сверхчистых материалов, выращиванию кристаллов, приготовлению различных качественно новых сплавов, производству лекарственных препаратов и т. д.¹. Проведенные исследования стимулировали интенсивное развитие ряда фундаментальных научных дисциплин, в частности физики невесомости, опираясь на достижения которых космическое производство продолжает уверенно развиваться².

Получаемая новая научная информация позволяет более точно планировать и прогнозировать развитие этой области космической деятельности. По современным оценкам до конца текущего столетия в космосе может быть налажено производство в относительно небольших количествах дорогостоящих фармацевтических препаратов, некоторых специальных кристаллов для использования в радиоэлектронике и оптике и т. п. Широкомасштабное же производство в космосе различных материалов для нужд промышленности является задачей следующего столетия.

Перспективным представляется использование (например, в космическом строительстве) материалов внеземного происхождения. На определенном этапе это может оказаться экономически более выгодным по сравнению с доставкой материалов с Земли. В качестве сырья для производства космических строительных материалов рассматриваются минеральные ресурсы Луны и некоторых астероидов. В этой связи уже ведется реальная проработка различных проектов лунных поселений, на базе которых в перспективе могут быть созданы горнодобывающие комплексы и перерабатывающие предприятия.

¹ См.: Гришин С. Д., Лесков Л. В., Савичев В. В. Космическая технология и производство. М., Знание, 1978.

² См.: Осипьян Ю., Регель Л. Становление физики невесомости.— Правда, 1985, 12 ноября.

Для энергообеспечения лунных поселений предполагается использовать ядерный реактор, планируется создание замкнутых систем жизнеобеспечения, прозрачных куполов для выращивания сельскохозяйственных культур и т. д. Безусловно, промышленное освоение Луны сопряжено с необходимостью решения многих сложнейших технических задач и будет осуществляться поэтапно в течение десятков лет.

Надо сказать, что прогнозирование путей развития космонавтики в условиях ее стремительного прогресса, постоянного появления новой научно-технической информации, новых идей, проектов и разработок, конечно, является чрезвычайно сложным делом. На наших глазах в течение нескольких последних лет многие крупные космические проекты подвергались кардинальной переоценке.

Подобное произошло, например, с проектом создания спутниковых солнечных электростанций (ССЭ). Напомним, что проект создания ССЭ, расположенных на геостационарной орбите и преобразующих энергию солнечного излучения в передаваемое на Землю направленное сверхвысокочастотное радионизлучение или лазерное излучение, был выдвинут в 1973 г. Согласно оценкам ССЭ мощностью 5—10 ГВт должны оснащаться солнечными батареями площадью 50—100 км², максимальные поперечные размеры ССЭ могли бы достигать 20—30 км, а масса всей конструкции — 100 000 т.

Однако проведенный комплексный анализ показал, что реализация проекта ССЭ встречает множество трудностей технического, экономического и экологического характера. Некоторые из них мы рассмотрим дальше. Из-за этих трудностей чересчур оптимистические прогнозы, предсказывавшие создание промышленных ССЭ уже в середине 1990-х годов, сменились более реалистичными оценками, относящими создание таких ССЭ к середине XXI в.

Но вне зависимости от конкретных путей дальнейшего развития космонавтики расширение масштабов хозяйственной деятельности человека в космосе в будущем может потребовать решения проблем экологии околоземного космического пространства, являющихся до известной степени характерными, и земной экологии: проблемы воздействий космических транспортных средств на околоземное космическое пространство и проблемы

его загрязнения выбросами газообразных, жидких и твердых отходов из космических производственных комплексов.

Конечно, обострения этих проблем можно ожидать, по-видимому, лишь в следующем столетии, однако очень важно уже сейчас глубоко и тщательно изучать все виды антропогенных воздействий на космическую среду, анализировать экологические перспективы деятельности в космосе, поскольку пренебрежение требованиями экологии и охраны окружающей среды может в конечном счете свести на нет плоды технического прогресса.

Естественно, будущие космические предприятия должны работать таким образом, чтобы исключить попадание их отходов в атмосферу Земли. Но и засорение околоземного космического пространства, иногда неоправданно рассматриваемого в некоторых технологических схемах как гигантский вакуумный насос, может обернуться трудно предсказуемыми негативными последствиями. Кроме того, выбрасываемые отходы могут воздействовать и на сами космические сооружения. Известно, что выбросы различных веществ с космических аппаратов приводят к образованию около него собственной атмосферы, к загрязнению поверхности космических аппаратов и в конечном итоге могут приводить к нарушению их нормального функционирования¹.

Говоря о проблемах, связанных с загрязнением космического пространства, нельзя не упомянуть о выдвигаемых проектах отправки в космос высокотоксичных и радиоактивных отходов наземных промышленных предприятий. Хотя, казалось бы, удаление таких отходов в космос более благоприятно для биосферы Земли, нежели их захоронение в шахтах или в глубинах океана (при условии, конечно, гарантии абсолютной безопасности и надежности самой операции отправки отходов с Земли), однако такие проекты требуют тщательного экологического обследования.

В частности, необходимо всесторонне изучить возможные дальнейшие долговременные движения и превращения выбрасываемых веществ в космическом пространстве. Здесь могут оказаться недостаточными бы-

¹ См.: Акишин А. И., Новиков Л. С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. М., Знание, 1983.

тующие порой упрощенные представления о том, что, например, радиоактивные отходы совершенно безвредно для окружающей среды волеются в потоки естественной космической радиации.

Существует и морально-этическая сторона загрязнения космического пространства промышленными отходами. Советские ученые А. Д. Урсул и Ю. А. Школенко, активно разрабатывающие методологические аспекты космонавтики, подчеркивают, что при ориентации на промышленное использование космического пространства и небесных тел не следует переходить меру разумного. В частности, по их мнению, «было бы неразумно, недальновидно и неэтично считать космос, хотя и безбрежный, исключительно местом свалки земных отходов»¹.

При анализе экологических аспектов освоения космоса, безусловно, необходим широкий диалектический подход, предусматривающий не только сохранение исходных природных условий, но и их направленное изменение. Это в полной мере относится, например, к выдвигаемым проектам воздействия на атмосферы Венеры и Марса с целью приближения условий на этих планетах к земным. Однако многочисленные уроки, полученные человечеством в процессе преобразования природы Земли, заставляют относиться с крайней осторожностью и ответственностью к подобным действиям в космическом пространстве.

В последующих разделах мы подробнее рассмотрим наиболее важные проблемы экологии околоземного пространства, но прежде посмотрим, как устроено окружающее Землю космическое пространство.

СФЕРЫ, КОТОРЫЕ НАС ОКРУЖАЮТ

К настоящему времени разработан ряд так называемых стандартных моделей атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли. Эти модели отражают наиболее существенные черты строения околоземной среды: распределение по высоте и регулярные пространственно-временные вариации давления, плотности и температуры атмосферы, распределение электронов и ионов в пространстве, вариации напряженности геомагнитного поля,

¹ Урсул А. Д., Школенко Ю. А. Человек и космос. М., Политиздат, 1976.

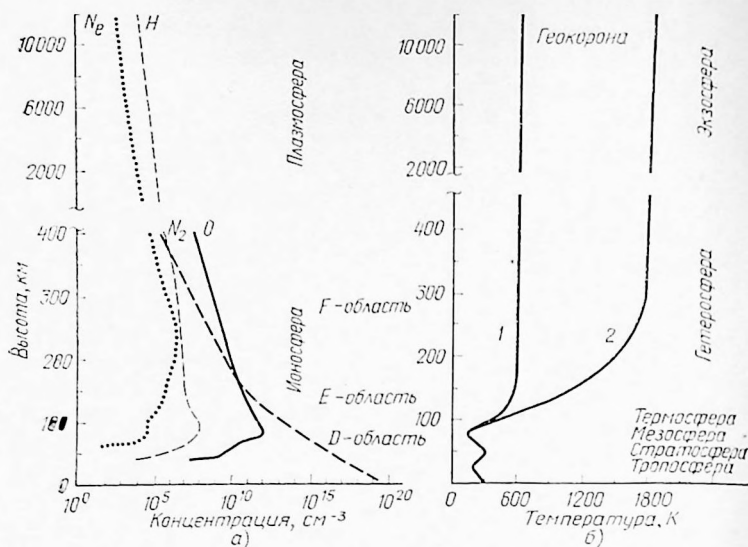


Рис. 1. Зависимости некоторых параметров атмосферы от высоты: а — распределение концентраций нейтральных составляющих и электронов (N_e), б — распределение температуры нейтральных составляющих при минимуме (1) и максимуме (2) солнечной активности

характеристики потоков энергичных частиц и т. д.

Вертикальные разрезы различных сфер, окружающих Землю согласно этим моделям, показывающие строение околоземного пространства, приведены на рис. 1, а и 1, б. По горизонтальной оси здесь отложены значения концентраций нейтральных и заряженных частиц (см. рис. 1, а) и температуры (см. рис. 1, б), а по вертикальной оси — высота. Границы, разделяющие различные сферы в соответствии с резкими изменениями в высотном профиле температуры (см. рис. 1, б), обычно называют паузами.

По мере удаления от поверхности Земли последовательно выделяются тропосфера, стратосфера и мезосфера, которые, вместе взятые, образуют гомосферу — область, отличительной особенностью которой является однородность химического состава, т. е. неизменное относительное содержание основных газовых составляющих (N_2 , O_2 , Ar и CO_2). Эта однородность гомосферы

обеспечивается значительной турбулентностью, которая перемешивает атмосферу. Однако при постоянстве содержания основных газов концентрация в гомосфере так называемых малых составляющих (ОН, H_2O , O_3 , соединения азота, серы и др.) существенно изменяется как в пространстве, так и с течением времени.

Значительная изменчивость малых составляющих обусловлена прежде всего влиянием быстрых фотохимических процессов, в которых они образуются и исчезают. Хотя указанные составляющие и называются малыми из-за своего низкого содержания в атмосфере (менее 1%), их роль в атмосферных процессах тем не менее очень велика. Достаточно напомнить, что озоновый слой атмосферы, расположенный на высоте 15—50 км, надежно экранирует поверхность Земли и все живое от вредного воздействия коротковолновой ультрафиолетовой солнечной радиации. В связи с этим не случайно озоновый слой называют «озоновым щитом» нашей планеты.

Наряду с малыми газовыми составляющими значительное влияние на состояние атмосферы, на тепловой и динамический режим тропосферы и стратосферы оказывают аэрозольные частицы. Атмосферный аэрозоль, количество которого существенно зависит от извержений вулканов, пылевых бурь, характера протекания атмосферных процессов и антропогенных факторов, сильно влияет и на величину потока солнечного излучения, достигающего поверхности Земли.

Выше 60—70 км начинается та область околоземной среды (ее называют гетеросферой), которую некоторые ученые уже относят к космическому пространству. На таких высотах резко падает влияние турбулентного перемешивания атмосферы, в результате чего основные нейтральные составляющие распределяются по высоте в основном в соответствии с их массой. Высотное распределение нейтральных составляющих характеризуется параметром, который называют шкалой высот или высотой однородной атмосферы. Он определяет интервал высот, в пределах которого концентрация частиц изменяется в $e = 2,72$ раза.

В нижней части гетеросферы — термосфере — появляется атомарный кислород, который на меньших высотах в атмосфере не образуется. Как видно на рис. 1, а, газовые компоненты гетеросферы имеют различные шкалы высот, т. е. различным образом распределены по

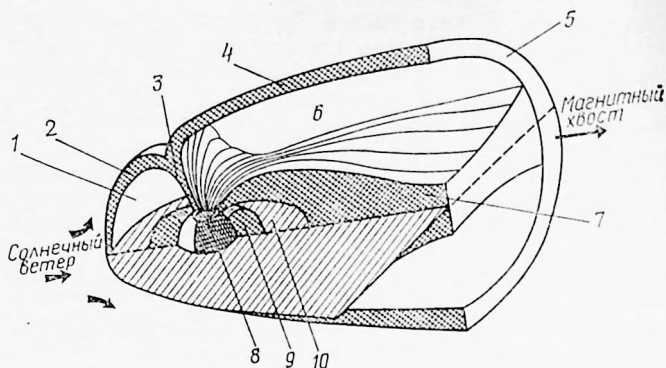


Рис. 2. Строение магнитосферы Земли:

1 — радиационный пояс, 2 — переходная область, 3 — область полярного каспа, 4 — мантия, 5 — граница хвоста, 6 — область разомкнутых силовых линий геомагнитного поля, 7 — плазменный слой, 8 — овал полярных сияний, 9 — плазмосфера, 10 — радиационный пояс на ночной стороне магнитосферы

высоте. Выше высот 400—600 км, где длина свободного пробега частиц достигает нескольких десятков километров, термосфера переходит в экзосферу, т. е. внешнюю сферу, в которой преобладают атомный водород и гелий. Протяженная область перехода экзосферы в межпланетное пространство, состоящая из атомов водорода, называется геокоорной.

До сих пор мы рассматривали высотное распределение нейтральных частиц. Однако в околоземном пространстве, начиная с высот 60—70 км, существуют и заряженные частицы (электроны и ионы), относительное содержание которых сначала невелико, затем быстро возрастает с высотой. В нижней части этой плазменной оболочки, называемой плазмосферой, на высотах 60—600 км находится ионосфера. В ней выделяют области (слои) D, E и F (см. рис. 1, а), отличающиеся ионным составом и распределением концентрации электронов. В области F наблюдается максимальная концентрация электронов, достигающая на высотах 250—400 км величины $10^5—10^6 \text{ см}^{-3}$. Ионосфера отражает коротковолновое радионизлучение, обеспечивая тем самым передачу радиосигналов между пунктами, разнесенными на тысячи километров.

Распределение заряженных частиц в ионосфере и плазмосфере контролируется не только действием силы тяжести и температурой, как в случае нейтральных составляющих, но и в значительной степени геомагнитным полем.

На больших расстояниях от Земли (5—8 радиусов Земли) распределение плазмы в околоземном пространстве определяется уже сложным взаимодействием набегающего потока плазмы солнечного ветра с геомагнитным полем. Чтобы яснее представить, как происходит это взаимодействие и каким образом оно проявляется, обратимся к рис. 2, на котором приведена схема магнитосферы Земли. Конфигурация магнитосферы достаточно наглядно отражает процесс обтекания геомагнитного поля потоком плазмы солнечного ветра.

Описание этой грандиозной картины солнечно-земного взаимодействия можно найти во многих популярных изданиях¹. Поэтому мы не будем останавливаться на последовательном перечислении особенностей строения магнитосферы, хорошо видных на рис. 2. Однако мы все-таки отметим одну функцию магнитосферы, имеющую непосредственное отношение к экологии околоземного космического пространства.

Это, если можно так сказать, «защитная функция» магнитосферы. Как видно на рис. 2, магнитосфера образует своеобразную защитную оболочку (хотя и достаточно неоднородную), которая препятствует проникновению солнечной корпускулярной радиации к поверхности Земли. Проведенные исследования показали, что эта защитная оболочка весьма динамична и нестабильна. Стоит произойти солнечной вспышке, при которой в космос выбрасываются более интенсивные потоки плазмы и потоки энергичных частиц, как увеличивается давление на защитный магнитный экран — магнитосферу.

Под давлением солнечного ветра меняется исходная конфигурация геомагнитного поля, возникают возмущения в области вытянутых на ночную сторону геомагнитных силовых линий — в хвосте магнитосферы. Хвост этот начинает раскачиваться и сжиматься, выбрасывая к Земле плазменные сгустки. Отголоски борьбы этих грандиозных процессов доходят до поверхности Земли

¹ См., например, Дубинин Э. М., Подгорный И. М. Магнитные поля небесных тел. М., Знание, 1980.

в виде магнитных бурь, полярных сияний, ионосферных возмущений и, как теперь полагают, изменений погодообразующих процессов.

Таким образом, околоземное пространство в целом представляет собой весьма динамичную и нестабильную систему, которая под влиянием внешних воздействий может переходить в неустойчивое состояние с выделением значительного количества энергии и развитием крупномасштабных возмущений типа магнитосферно-ионосферных бурь. Теоретические оценки показывают, что при определенных условиях причиной заметных возмущений околоземной среды могут стать и факторы антропогенного происхождения, такие, например, как выбросы нейтрального газа или плазмы двигателями установками транспортных космических систем.

Далее мы как раз и рассмотрим аспекты экологии околоземного космического пространства, связанные с функционированием и развитием таких систем.

В КОСМОСЕ СТАНОВИТСЯ ТЕСНО

С космосом у нас привычно ассоциируется понятие «безбрежный», однако в известном смысле теснота в космосе уже действительно начинает ощущаться, и здесь вновь невольно напрашивается аналогия с земными экологическими проблемами. Подобно тому как при малом количестве автомобилей несколько десятков лет назад не стоял остро вопрос о загрязнении воздуха их выхлопными газами и очень незначительной была опасность столкновений автомобилей друг с другом, так и относительно малое до настоящего времени число запусков космических аппаратов не вызывает пока серьезных опасений по поводу космических «дорожно-транспортных происшествий».

Однако в будущем — при строительстве и эксплуатации околоземных производственных комплексов, при промышленном освоении Луны — ситуация может сильно измениться. Потребуется организация широкомаштабных грузовых перевозок на трассе Земля — космос, на орбитах появятся крупногабаритные объекты, заметно возрастет число искусственных объектов в околоземном космическом пространстве. Поэтому и основы рационального решения будущих космических транс-

портных проблем, включая их экологический аспект, должны закладываться уже сейчас.

Перспективные транспортные космические системы¹, построенные на базе новых высокоэффективных жидкостных ракетных двигателей, двигателей на твердом топливе и электрореактивных двигателей с солнечными энергетическими установками, а позже и на базе лазерных и фотонных двигательных установок, безусловно, будут более «экологичными», т. е. в меньшей степени загрязняющими космическую среду, по сравнению с современными. Поэтому оценки воздействия ТКС на окружающую среду, основывающиеся на технических показателях современных ракетных двигателей, могут оказаться сильно завышенными в случаях применения их к перспективным космическим проектам. Тем не менее подобные оценки необходимы.

Современные мощные ракеты-носители при выведении на орбиту полезной нагрузки массой в несколько десятков тонн расходуют топлива в 20—30 раз больше массы полезного груза. Например, стартовая масса американской ракеты «Сатурн-5» составляла 2900 т, тогда как ее полезный груз — около 100 т. В результате при каждом пуске мощной ракеты выбрасывались в атмосферу сотни тонн продуктов горения.

Представление о типичных транспортных операциях в околоземном пространстве, планируемых, в частности, при монтаже крупных сооружений на геостационарной орбите, дает табл. 1. К примеру, если задаться целью создать на геостационарной орбите гигантский объект массой 100 тыс. т, то потребуется вывести на околоземную опорную орбиту приблизительно втрое больше грузов, включая топливо для буксировки собранного на низкой орбите объекта на геостационарную орбиту. Даже ориентируясь на будущие сверхтяжелые носители, способные выводить в космос полезный груз 300 т, мы получим, что для обеспечения космического строительства в таких масштабах потребуется запустить около 1000 ракет. При этом в атмосферу будет выброшено в общей сложности 6—9 млн. т продуктов сгорания ракетного топлива.

¹ См.: Гришин С. Д., Чекалин С. В. Космический транспорт будущего. М., Знание, 1983; Дмитриев А. С., Кошелев В. А. Космические двигатели будущего. М., Знание, 1982.

Таблица 1

**Транспортные операции, планируемые при строительстве
крупногабаритного объекта на геостационарной орбите**

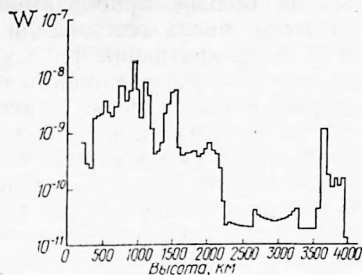
Транспортная система	Выполняемые операции	Топливо	Тип двигателя *
Тяжелые транспортные космические аппараты	Доставка грузов с Земли на опорную околоземную орбиту	CH_4/O_2 H_2/O_2 керосин	ЖРД (возможно, с РДТТ)
Транспортные космические аппараты для перевозки персонала	Доставка персонала на околоземную орбиту	H_2/O_2 керосин	ЖРД
Грузовые межорбитальные транспортные аппараты («буксиры»)	Доставка грузов с околоземной орбиты на геостационарную орбиту	HgArCs H_2/O_2	ЭРД, ЖРД
Межорбитальные транспортные аппараты для перевозки персонала	Доставка персонала на геостационарную орбиту	H_2/O_2	ЖРД

* Здесь приняты следующие обозначения: ЖРД — жидкостный ракетный двигатель, ЭРД — электрореактивный двигатель, РДТТ — твердотопливный ракетный двигатель.

Предположим, что все эти ракеты будут запущены в течение одного года. Насколько значительной для атмосферы Земли может оказаться такая антропогенная «нагрузка»?

Для сопоставления укажем, что за счет сжигания топлива разных видов на Земле в атмосферу сейчас ежегодно поступает более 20 млрд. т углекислого газа и свыше 700 млн. т других газообразных соединений и твердых частиц, в том числе около 150 млн. т сернистого газа. Последний, соединяясь с атмосферной влагой, образует серную кислоту, что может приводить к выпадению так называемых кислотных дождей, отрицательно влияющих на растительный и животный мир.

Ясно, что в глобальном масштабе выбросы в атмосферу, создаваемые при запуске в течение года даже большего количества мощных ракет, ничтожно малы по сравнению с промышленными выбросами. Правда, надо отметить возможность заметного локального воздейст-



Р и с. 3. «Заселенность» околоземного космического пространства искусственными объектами (в 1 км³) в зависимости от высоты

визия запусков мощных ракет на атмосферу и ионосферу, а также тот факт, что ракеты в отличие от промышленных предприятий выбрасывают продукты горения в широком интервале высот. Последнее имеет существенное значение, поскольку поступление инородных соединений в верхнюю атмосферу, где общее содержание естественных газов мало, как раз и вызывает некоторые специфические физические явления.

Эффекты, вызываемые в околоземной среде работой двигательных установок транспортных космических систем, мы обсудим в следующем разделе, а сейчас рассмотрим подробнее проблему засорения околоземного пространства искусственными телами и посмотрим, какова же опасность столкновений спутников с такими телами.

В 70-х годах в связи со значительным расширением масштабов деятельности в космосе эти вопросы уже обрели достаточную актуальность. Вероятность столкновения спутника с другим искусственным космическим телом пропорциональна «заселенности» космического пространства (W), которую можно охарактеризовать, например, количеством искусственных объектов, приходящимся на определенный интервал высот. На рис. 3 показано высотное распределение величины W , построенное по данным на 30 апреля 1976 г., когда на околоземных орбитах находилось 3866 объектов, поддающихся наземным радиолокационным наблюдениям (поперечные раз-

меры таких объектов больше приблизительно 10 см).

Около 25% от этого числа составляли собственно спутники (включая и прекратившие работу), а остальные 75% приходились на долю различного рода «космического мусора» (последние ступени ракет-носителей, сбрасываемые защитные кожухи, экраны и другие детали). На рис. 3 видно, что уже к середине 70-х годов в космосе наметились «магистральи» с интенсивным движением и «тихие улицы». Максимальная плотность «заселенности» космического пространства наблюдалась на высоте около 900 км. Еще две «оживленные магистральи» расположились на высотах вблизи 1500 и 3700 км.

В соответствии со степенью «заселенности» меняется вероятность столкновений спутников с другими искусственными телами на разных орбитах. Например, для спутника диаметром 10 м вероятность столкновения с крупным искусственным телом в течение года на наиболее «заселенных» орбитах оценивалась по приведенным данным приблизительно как 10^{-4} . Суммирование по времени вероятности столкновения с учетом увеличения числа искусственных объектов в околоземном пространстве позволяет в принципе определить вероятное число столкновений для спутника к заданному моменту времени.

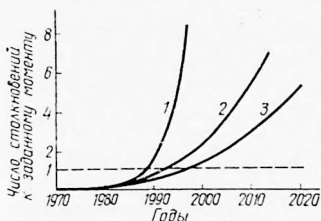


Рис. 4. Возможность столкновения искусственных объектов в околоземном космическом пространстве

На рис. 4 приведены результаты такого расчета, выполненного для трех вариантов предполагавшегося ежегодного прироста числа искусственных объектов в интервале высот от 200 до 4000 км на 13%, на 510 объектов и на 320 объектов в год. Такие варианты увеличения числа искусственных объектов в околоземном космическом пространстве были выбраны на основании анализа их количества в разные периоды до 1976 г. Согласно

но этим данным, при наиболее быстром ежегодном приросте числа крупных объектов в околоземном пространстве (ежегодно на 13%) первое столкновение спутника с крупным телом искусственного происхождения прогнозируется к 1989 г., а при наиболее медленном приросте (на 320 объектов в год) — к 1997 г.

Однако даже последний прогноз оказался чересчур «пессимистичным», так как ежегодный средний прирост числа искусственных объектов в околоземном космическом пространстве оказался значительно меньше предсказывавшегося. По данным радиолокационных наблюдений, к 31 декабря 1984 г. на орбитах находилось 3408 искусственных объектов, из них 1476 — различных космических аппаратов. Причем ситуация на низких околоземных орбитах стала более благоприятной из-за развития космической техники: увеличился срок службы спутников, меньше стало попадать на орбиты «ненужных» фрагментов ракет и космических аппаратов, некоторые из последних стали удаляться с орбит после окончания своей работы.

В последние годы более критичной с точки зрения возможных космических столкновений стала геостационарная орбита: число геостационарных спутников приблизилось к 200, причем они размещаются преимущественно на четырех участках орбиты (около 115° и 20° з. д., 70° и 175° в. д.). Их положение на геостационарной орбите с применением активной коррекции может поддерживаться в среднем с точностью $\pm 0,1^\circ$ по долготе и широте (что соответствует квадрату со сторонами 150 км), а по высоте — в пределах 30 км.

Перемещения геостационарных спутников, прекративших активную работу, по орбите более значительны. Это и создает наибольшую потенциальную опасность столкновений. Считается, что из-за дрейфа геостационарных спутников по орбите могут происходить их опасные сближения на расстоянии 1—10 км. Все это уже сейчас дает основание говорить о «перенаселенности» геостационарной орбиты.

На проходившей в августе 1982 г. II конференции ООН по исследованию и использованию космического пространства в мирных целях возможность столкновений геостационарных спутников рассматривалась наряду с взаимными радиопомехами как основной фактор, ограничивающий ресурсы геостационарной орбиты. По оцен-

кам, вероятность столкновения геостационарных спутников в ближайшие 10—15 лет может не превысить 10^{-3} , однако в случае вывода на геостационарную орбиту крупногабаритных сооружений типа ССЭ она существенно возрастет.

На низких орбитах значительно большую, нежели крупные искусственные тела, опасность для космических аппаратов представляют мелкие осколки, образующиеся при взрывах пиротехнических устройств, выполняющих операции разделения объектов, отстрела защитных кожухов и т. п., а в еще большем количестве — при взрывах различных объектов. Осколок с поперечным размером 1 см, находящийся на низкой орбите, способен пробить металлическую стенку толщиной несколько сантиметров. Точное число мелких осколков, находящихся в околоземном космическом пространстве, неизвестно. По некоторым данным их около 40 000, и вероятность столкновения действующих космических аппаратов с мелким осколком уже может быть сопоставимой с вероятностью попадания в них метеороида тех же размеров. Кстати, зафиксировано, по всей видимости, и столкновение космического корабля с мелкой частицей искусственного происхождения.

После второго полета американского корабля «Челленджер», в июне 1983 г., на переднем стекле его кабины был обнаружен кратер диаметром 5 мм от удара твердой частицы. На основании тщательного обследования специалисты пришли к заключению, что эта частица вероятнее всего была кусочком краски, отделившимся от какого-то другого КА. Заметим, что оценка вероятности столкновения за 7 суток полета такого корабля с осколком, способным сильно повредить его внешнюю обшивку, составляет $4 \cdot 10^{-6}$.

Для снижения опасности столкновений спутников с подобными осколками, во-первых, принимаются меры по уменьшению числа различных операций в околоземном пространстве, связанных с какими-либо взрывами, а во-вторых, разрабатываются проекты удаления осколков с орбит с помощью различного рода космических «мусоросборщиков». Создаются и средства для регистрации осколков. Например, в США планируется установить телескоп на борту спутника, способный регистрировать осколки диаметром несколько миллиметров.

Для удаления с рабочих орбит прекративших актив-

ное функционирование ИСЗ (что наиболее актуально для геостационарной орбиты) предусматривается оснащать их специальными двигателями. С помощью последних спутник после окончания срока службы можно переводить на очень высокие орбиты или, наоборот, тормозить для более быстрого схода с орбиты в плотные слои атмосферы. Возможно, однако, их неполное сгорание в этих слоях, и поэтому существует опасность падения на поверхность Земли достаточно крупных обломков.

Например, серьезную тревогу вызывало в свое время непредвиденно быстрое снижение американской станции «Скайлэб». К счастью, несгоревшие ее обломки в конце концов упали 11 июля 1979 г. в малонаселенных районах Австралии, не причинив никакого вреда.

Специально изучался и вопрос о возможном загрязнении атмосферы продуктами сгорания спутников, прекращающих свое существование в плотных слоях атмосферы. Правда, расчеты показывают, что даже при планируемом в ближайшие десятилетия расширении космической деятельности сгорание спутников и других космических аппаратов в плотных слоях атмосферы не должно привести к ее сильному загрязнению. Например, ожидаемое увеличение содержания окиси азота в верхней атмосфере составляет не более 0,05%. Не предвидится также существенного накопления в атмосфере различных токсичных соединений за счет такого сгорания.

Можно, конечно, предполагать возможность локального загрязнения атмосферы (и даже земной поверхности, если продукты сгорания достигнут ее), хотя подобные эффекты не наблюдались. (А по данным на 31 декабря 1984 г. за все время космической деятельности с орбит сошло около 10 тыс. поддающихся радиолокационным наблюдениям объектов). Тем не менее одним из требований, предъявляемых к материалам космических аппаратов, является выделение минимального количества токсичных веществ при сгорании в атмосфере.

КОСМИЧЕСКИЕ СТАРТЫ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГИИ

Уже в 60-х годах исследователи, проводившие наблюдения поносферы во время запусков мощных ракет-носителей, обратили внимание на необычные явления в

ионосфере: после запуска ионосферы, казалось бы, исчезает вблизи следа ракеты, но через час-другой картина нормальной ионосферы восстанавливалась. Было высказано предположение, что газы, выбрасываемые в ионосферу при полете ракеты, «выталкивают» разреженную ионосферную плазму. В результате в ионосфере образуется область с пониженной плотностью плазмы — «дыра», которая после распыливания облака газа снова затягивается.

Толчком к дальнейшему исследованию явлений в ионосфере, сопровождающих запуски ракет-носителей, стало обнаружение так называемого Скайлэб-эффекта, который был выявлен при запуске в мае 1973 г. мощной ракеты-носителя «Сатурн-5», выводившей в космос станцию «Скайлэб». Двигатели ракеты-носителя работали до высот 300—400 км, т. е. в F -области ионосферы, где располагается максимум ионизации ионосферы (см. рис. 1). Сопоставление же данных по концентрации электронов в ионосфере при запуске станции «Скайлэб» и за сутки до того показало, что эта концентрация после запуска ракеты-носителя уменьшилась на 50%, причем площадь возмущения в ионосфере по данным наблюдений радиомаяков достигла приблизительно 1 млн. км².

Этот эффект иллюстрируется рис. 5, где показаны изменения электронной концентрации в ионосфере в те-

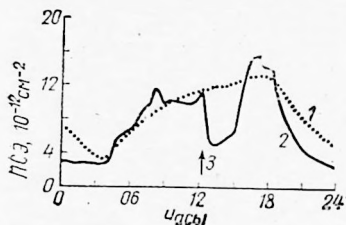


Рис. 5. Скайлэб-эффект в ионосфере:

1 — средние значения суточных вариаций полного содержания электронов (ПЭС) в столбе ионосферы, 2 — суточные вариации ПЭС в день запуска станции «Скайлэб», 3 — в момент запуска

чение суток, усредненные за месяц до запуска ракеты-носителя «Сатурн-5» и измеренные в течение суток в день запуска. Результаты измерений показывают, что «дыра» в ионосфере существовала после запуска ракеты примерно 3 ч, а затем ионосфера вернулась к невозмущенному состоянию.

Данные по ионосферным возмущениям при запусках мощных ракет-носителей подтвердили необходимость тщательного и всестороннего исследования воздействий существующих и перспективных транспортных космических систем на околоземную среду. К настоящему времени проведен также ряд экспериментальных исследований и модельных оценок влияния, которое оказывают выбросы двигательных установок этих систем на химический состав атмосферы.

Таблица 2

Компоненты, выбрасываемые в окружающую среду
при работе двигательных установок ракет
и космических аппаратов (по материалам зарубежной печати)

Тип аппарата	Высота, км	Выбрасываемые продукты, т					
		HCl+Cl	NO _x	CO _x	H ₂ O, H ₂	окислы алюминия	ионы Ag+
Многоразовый транспортный космический корабль (МТКК)	0—50 >50	187	7	378	346 166	177	500
Транспортный космический аппарат	60—120 120—500				200 30		
Межорбитальный транспортный аппарат	500— 36 000						
грузовой вариант пассажирский вариант					300		

Сначала ознакомимся с компонентами топлива, которые выбрасываются в окружающую среду при запусках ракет-носителей и при работе двигательных установок космических аппаратов. Из табл. 2 следует, например, что состав продуктов сгорания, выбрасываемых двигателями МТКК «Спейс Шаттл» в нижних слоях атмосферы, весьма многообразен и включает в себя токсичные компоненты.

В приземном слое атмосферы высотой до 0,5—1,0 км

выбросы, образующиеся при стартах МТКК, могут приводить к токсичному загрязнению облаков, выпадению кислотных дождей и изменениям погодных условий в районе старта на территории 100—200 км². Правда, отмеченные эффекты кратковременны, поскольку сильные турбулентные движения в приземной атмосфере приводят к быстрому перемешиванию выброшенных химических компонентов и снижают их концентрацию до уровней, ниже допустимых по безопасности для человека и животных.

Однако в стратосфере на высоте 15—50 км процессы перемешивания менее эффективны, в результате чего загрязнения, вносимые при запусках ракет-носителей, носят более долговременный характер. Так, частицы аэрозоля, выброшенные двигателями ракет-носителей, могут существовать в стратосфере до года и более, что может сказаться на тепловом балансе атмосферы. Кроме того, такие продукты сгорания, как соединения хлора, азота и водорода, являются катализаторами реакций с участием молекул озона и их роль в фотохимическом цикле озона велика, несмотря на их относительно малые концентрации в стратосфере.

А какие явления на больших высотах сопровождают запуски мощных ракет-носителей?

В мезосфере, на высотах 70—90 км, основными выбрасываемыми компонентами продуктов сгорания двигательных установок МТКК и мощных ракет-носителей являются H_2 и H_2O . Поскольку температура атмосферы на этих высотах самая низкая (см. рис. 1, б), то молекулы воды быстро конденсируются и смерзаются с образованием ледяных кристаллов. В результате этих процессов могут возникать искусственные облака, подобные серебристым облакам, которые образуют самый верхний облачный слой в атмосфере Земли.

Переходя к еще большим высотам, где находится ионосфера, отметим основные процессы, приводящие к возникновению крупномасштабных ионосферных возмущений — ионосферных «дыр», о которых уже упоминалось в начале этого раздела.

Начальная фаза развития ионосферного возмущения определяется быстрым расширением облака продуктов сгорания, основными компонентами которого являются H_2 , H_2O и CO_2 . Часть этих молекул конденсируется, в то время как значительная доля взаимодействует с ком-

понентами ионосферной плазмы. В результате этого взаимодействия концентрация электронов в ионосфере уменьшается и образуется область с пониженной плотностью электронов, т. е. ионосферная «дыра».

Возникновение ионосферной «дыры» сопровождается аномалиями свечения ионосферы в области «дыры», изменениями в распространении радиоволн, возбуждением волновых явлений различного рода¹. Дело в том, что образующаяся при полете мощной ракеты-носителя ионосферная «дыра» действует как своего рода «насос», который как бы «откачивает» плазму из внешней ионосферы и плазмосферы. Поскольку движение плазмы контролируется геомагнитным полем, то вдоль силовой линии поля в результате оттока плазмы возникает столб с пониженной плотностью плазмы.

Ряд данных указывает на тенденцию накопления компонентов искусственного происхождения в верхней атмосфере. Так, профессор В. И. Красовский и его коллеги, наблюдая спектры свечения атмосферы, зарегистрировали увеличение фонового свечения ионов воды, которое за период с 1960 по 1980 г. увеличилось на два порядка величины. Этот эффект ученые объясняют накоплением паров воды в мезосфере и нижней термосфере в результате регулярных запусков ракет-носителей.

Оценивая эффекты возможных воздействий на *F*-область ионосферы в будущем, приведем несколько цифр, характеризующих изменения электронной концентрации в ионосфере при полетах перспективных транспортных космических систем. Так, по расчетам американских специалистов, запуски тяжелых космических буксиров (межорбитальных транспортных аппаратов) могут сопровождаться инжектированием в ионосферу 10^{31} молекул H_2 и H_2O , что вызовет образование ионосферной «дыры» площадью около 20 млн. км² (это вдвое превышает территорию США).

Длительность существования «дыры» в зависимости от геофизических условий может достигать 1—16 ч. При регулярных запусках таких перспективных космических буксиров со среднеширотных полигонов в Северном по-

¹ См. подробнее: Карлов В. Д., Козлов С. И., Ткачев Г. Н. Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты в ионосфере с работающим двигателем (обзор).— Космические исследования, 1980, т. 18, № 2.

лушарии может возникнуть в ионосфере глобальный пояс шириной 2000—10 000 км с пониженной концентрацией заряженных частиц. Степень уменьшения электронной концентрации в таком поясе составит не менее 10% и будет варьировать в зависимости от геофизических условий.

Ионосферу «загрязняют» не только запуски ракет-носителей. При полетах больших космических аппаратов, например орбитальных станций, в результате микротечений и газоотделения материалов, а также работы различных бортовых систем образуется уже упоминавшаяся собственная атмосфера космических аппаратов, параметры которой могут существенно отличаться от характеристик окружающей среды. По измерениям параметров среды возле станции «Скайлэб» и МТКК было зарегистрировано увеличение давления возле этих космических аппаратов на 3—4 порядка по сравнению с давлением в окружающей атмосфере. Были отмечены также заметные изменения в нейтральном и ионном составе, обусловленные газовыделением материалов станции, в электромагнитных излучениях, потоках заряженных частиц.

Сложное взаимодействие набегающего потока ионосферной плазмы с искусственной атмосферой, окружающей космический аппарат, приводит в ряде случаев к возникновению своеобразных разрядных явлений, сопровождающихся свечением среды возле аппарата и поверхности самого аппарата, генерацией электромагнитных излучений, ускорением заряженных частиц ионосферной плазмы¹.

Очевидно, что подобное комплексное «загрязнение» среды возле космического аппарата — явление нежелательное как для самого аппарата, так и для тех экспериментов и наблюдений, которые проводятся с его помощью.

В заключение этого раздела рассмотрим некоторые проблемы «экологии магнитосферы», которые придется учитывать при разработке перспективных транспортных космических систем, например космических буксиров, которые должны транспортировать грузы и персонал с околоземной базовой орбиты на более высокие. При полетах этих космических буксиров, использующих

¹ См.: Аэрокосмическая техника, № 2. М., Мир, 1985.

жидкостные ракетные двигатели, в околоземное пространство будут выбрасываться H_2 и H_2O , а при полетах буксиров, использующих электрореактивные двигатели,— ионы Ag^+ с энергией до 3,5 кэВ (см. табл. 2). При этом выброс основной массы газов и ионов будет проводиться в плазмосфере и магнитосфере (см. рис. 1 и 2), образующих плазменную оболочку Земли.

Для примера укажем, что космический грузовой буксир при транспортировке груза с базовой на геостационарную орбиту будет инжектировать в околоземное пространство около 10^{31} ионов Ag^+ и электронов (при работе электрореактивных двигателей). При строительстве же в течение года двух ССЭ мощностью 10 ГВт каждая космические буксиры выбросят в ионосферу и магнитосферу около 10^{33} атомов водорода (в виде H_2 и H_2O) и $4 \cdot 10^{32}$ ионов Ag^+ и электронов. Для сравнения укажем, что естественное содержание атомов водорода в плазмосфере между уровнем 500 км и плазмопаузой (расстояние, равное 4 радиусам Земли) составляет $3 \cdot 10^{32}$ атомов. Количество плазмы (ионы Ag^+ и электроны), выброшенное в околоземное космическое пространство, будет сравнимо с общим содержанием плазмы в областях магнитосферы, пересекаемых космическим буксиром.

Энергия искусственной инжектированной плазмы почти в 1000 раз превысит энергию «холодных» частиц естественной магнитосферы и будет сопоставима с энергией, которая передается околоземному пространству при развитии магнитной бури после солнечной вспышки. Однако необходимо отметить, что энергия такой величины будет передаваться магнитосфере не сразу, а постепенно — в течение нескольких месяцев буксировки объектов на геостационарную орбиту.

Одним из важных явлений при работе двигательных установок космических буксиров может стать возникновение так называемых «триггерных» явлений в околоземном космическом пространстве. Дело в том, что магнитосфера, как уже отмечалось, представляет собой неустойчивую среду. При выбросах газа и плазмы во время работы двигательных установок космических буксиров может происходить резкое изменение условий динамического равновесия волн и частиц в магнитосфере, что вызывает высыпание частиц из магнитосферы и развитие суббуревых возмущений. Таким образом, выброс газа или плазмы может служить своеобразным спуско-

вым механизмом, стимулирующим развитие крупномасштабных геофизических явлений в околоземном пространстве, т. е. своего рода переход магнитосферы из одного энергетического состояния в другое.

Представленный краткий анализ возмущений в околоземном пространстве при запусках мощных ракет-носителей и при полетах космических аппаратов показывает, что уже в настоящее время эти возмущения хотя и невелики по масштабам околоземного пространства, но тем не менее заметны. С увеличением высоты размеры области и интенсивность искусственных возмущений растут. Область возмущения при запуске мощной ракеты-носителя можно представить в виде конуса, обращенного вершиной к Земле. У поверхности Земли диаметр возмущенной области составляет несколько десятков километров и достигает нескольких тысяч километров на высотах 300—400 км.

По-видимому, у читателя после этого раздела могло сложиться мнение, что авторы либо где-то лукавят, либо действительно принижают остроту экологических аспектов в космонавтике. Однако еще раз подчеркнем, что при современном уровне развития транспортных космических систем их возмущения приземной атмосферы и нижних слоев околоземного пространства существенно меньше антропогенных воздействий промышленных производств, сельского хозяйства, автомобильного транспорта и высотной авиации. И чтобы у читателя не было никаких сомнений, на сей счет рассмотрим некоторые виды техногенных воздействий на околоземное пространство.

ЧТО БОЛЬШЕ ВСЕГО УГРОЖАЕТ ОЗОННОМУ СЛОЮ?

В середине 70-х годов одна из мощных отраслей промышленности США, производящая аэрозольные упаковки, содержащие фторхлоруглероды (фреоны), оказалась под угрозой ликвидации. В прессе публикации на тему «Атака на фреоны» потеснили на время светские новости и сообщения уголовной хроники, а в редакции газет поступали требования об изъятии упаковок с фреонами из продажи. Губернаторы штатов Орегон и Нью-Йорк выступили с заявлениями о готовности подписать законопроект, запрещающий продажу аэрозольных упаковок.

Причиной всех этих событий стала статья известных специалистов по аэронамике Ф. Роланда и М. Молина в журнале «Нейчур» («Природа»). В этой статье, названной «О возможных неблагоприятных последствиях, связанных с попаданием фторхлоруглеродов в атмосферу», авторы в результате модельных расчетов пришли к выводу, что накопление фреонов в атмосфере может привести к уменьшению стратосферного озона. Отмечалось, что это, в свою очередь, приведет к увеличению потока ультрафиолетового излучения Солнца у поверхности Земли и как следствие к возможному увеличению заболеваний людей раком кожи, гипертонией, неврозами.

На чем же основывались авторы «атаки на фреоны»?

Исследования цикла фотохимических процессов в стратосфере, протекающих с участием молекул озона, показали, что озон легко разрушается, вступая во взаимодействие с различными химически активными компонентами, в том числе и с атомами хлора. Ф. Роланд и М. Молин представили расчеты, свидетельствующие о том, что поставщиком этих атомов могут служить и фреоны, проникающие в стратосферу и там диссоциирующие с образованием атомов хлора.

Экспериментальных данных, которые могли бы подтвердить или отвергнуть выдвинутую гипотезу, не было. Согласно некоторым расчетам при существующем уровне производства фреонов содержание озона в стратосфере может уменьшиться на 16% уже через четверть века, т. е. при жизни одного поколения людей. На этот период предсказывалось увеличение случаев заболевания раком кожи на 0,5—1,5 млн. случаев по сравнению с сегодняшним уровнем.

Последствия, как видно, ощутимые, поэтому и был брошен лозунг «Изъять фреоны!». Однако прекращение производства фреонов отнюдь не безболезненно, ибо оно так или иначе также затрагивает интересы людей. Напомним, что фреоны чрезвычайно широко используются в нашей жизни, хотя мы этого не замечаем. Фреоны — хладагент в домашних холодильниках и установках кондиционирования. Фреоны — основные аэрозольные компоненты. Без фреонов нельзя представить пищевую и фармацевтическую промышленность. Анестезирующие средства, технологические агенты в производстве синтетических материалов, растворители — все это фреоны.

Чтобы представить масштабы производства фреонов,

укажем, что в 1975 г. в США стоимость общей продукции, в которой используются фреоны, составляла около 8 млрд. долл. Из этой суммы 5,5 млрд. долл. приходится на хладагенты, 2 млрд. долл. — на аэрозольные компоненты, 0,4 млрд. долл. — на вспенивающие агенты. В промышленности США, связанной с производством фреонов, занято около 200 000 человек.

В связи с этим не удивительно, что атака на фреоны натолкнулась на стойкую «защиту фреонов». От «нападающих» потребовали более точных оценок, поскольку ряд косвенных фактов, связанных с существованием и вариациями хлорсодержащих соединений в атмосфере, не давал особых оснований бить тревогу. Более того, на озон могут оказывать воздействие и другие малые составляющие антропогенного происхождения — например, соединения азота, которые также эффективно взаимодействуют с молекулами озона.

Следует подчеркнуть, что проблема атмосферного озона достаточно сложна и носит комплексный характер. Дело в том, что озон есть лишь отдельное (хотя и очень важное!) звено в сложной системе, которую представляет собой атмосфера. Достаточно сказать, что на содержание малых составляющих в стратосфере, которые могут вступать в реакции с молекулами озона, оказывает влияние до 85 различных реакций одновременно. Параметры ряда важных реакций этой сложной «фотохимической кухни» пока еще не определены.

В связи с этим упрощенные оценки того или иного эффекта в озоном слое без учета комплексного характера всей системы могут скорее обозначать остроту определенного направления в решении проблем «озонного щита». Можно указать, что атака на фреоны — не первый случай драматического развития событий, связанных с охраной «озонного щита». Еще свежи воспоминания об атаках на «Конкорд», когда категорические выводы об отрицательных последствиях влияния высотных самолетов на озон стратосферы способствовали формированию у общественности мнения об экологической опасности этого вида транспорта.

Надо сказать, что проблема воздействий соединений азота, выбрасываемых при полетах высотных самолетов, на озоносферу долгое время привлекала внимание специалистов и общественности. Были развернуты широкие лабораторные исследования химических процессов, про-

текающих с участием молекул озона, проведены многочисленные измерения малых составляющих, влияющих на содержание озона, разработаны сложные численные модели состава стратосферы, которые использовались для оценок и прогноза изменений содержания озона при развитии стратосферной авиации.

В настоящее время полагают, что основные источники антропогенного хлора и азота в стратосфере связаны с промышленным и сельскохозяйственным производством. Так, по данным на 1975 г. образование хлора за счет антропогенных источников различного происхождения составило около $4 \cdot 10^6$ т в год, из них фреонов около $8 \cdot 10^5$ т в год. Средний темп увеличения составлял около 10% в год, и хотя доля фреонов в общем балансе хлорсодержащих соединений составляет 20%, поступление атомов хлора в стратосферу обеспечивается в основном за счет фреонов.

Фреоны дают от 50 до 70% общего количества хлора, попадающего в стратосферу. Для сравнения можно указать, что основной естественный источник стратосферного хлора — вулканические извержения — обеспечивает поступление от 5 до 30% стратосферного хлора. Таким образом, в стратосфере преобладает хлор антропогенного происхождения, и именно рост антропогенного вклада в общий баланс хлорсодержащих соединений будет определять содержание хлора в стратосфере и его роль в дальнейшей эволюции озоносферы.

По имеющимся оценкам, важную роль в балансе стратосферного озона играют и соединения азота, которые обеспечивают до 70% фотохимического стока молекул озона. Однако в отличие от хлора в общем балансе соединений азота в стратосфере преобладают естественные, а не антропогенные источники. Основным источником антропогенного типа является производство азотных удобрений, темпы роста которого весьма значительны.

Так, за период 1950—1975 гг. производство азотных удобрений в мире выросло в 30 раз и достигло $4 \cdot 10^7$ т в год. Предполагается, что к 2000 г. оно достигнет $2 \cdot 10^9$ т в год. Это будет означать, что в результате производства азотных удобрений к 2000 г. в стратосферу будет вводиться от $5 \cdot 10^5$ до 10^6 т в год азотных соединений (в основном в виде NO).

Расчеты, проведенные в последние годы, показывают, что сохранение современных темпов поступления соеди-

нений азота и хлора в стратосферу приведет к уменьшению общего содержания озона в атмосфере к 2005 г. примерно на 3%. В то же время распределение озона по высоте в результате действия антропогенных источников может претерпеть существенные изменения. Например, в стратосфере на высоте 40 км концентрация озона может уменьшиться на 13%, а в тропосфере на уровне около 8 км — увеличиться на 22%.

Теперь можно сравнить различные антропогенные источники азота и хлора в стратосфере для того, чтобы оценить относительный вклад перспективных транспортных космических систем в баланс озона в стратосфере. Если использовать имеющиеся данные по выбросам двигательных установок современных транспортных космических систем (см. табл. 2) и учесть опубликованные данные по разработкам перспективных таких систем, то можно определить возможное поступление соединений азота и хлора в стратосферу за счет транспортных космических систем. По-видимому, к 2005 г. оно не превысит 10^5 т в год, что менее 10% общего антропогенного источника соединений азота и хлора в стратосфере.

Таким образом, можно полагать, что развитие космонавтики не будет существенным образом влиять на параметры «озонного щита» в глобальном масштабе. Тем не менее локальные воздействия на озоносферу вблизи областей запусков ракет-носителей и МТКК могут быть более заметными и потребуют специальных исследований.

Особо надо сказать о влиянии таких антропогенных воздействий на атмосферный озон, как ядерные взрывы в атмосфере и вызванные ими геофизические эффекты. Реальность таких воздействий подтверждается наблюдениями содержания озона в начале 60-х годов, когда такие взрывы в атмосфере были регулярными. Эффекты уменьшения озона в атмосфере после взрывов отмечались в течение нескольких лет. Учитывая важность и остроту этой проблемы, мы еще вернемся к ней специально.

Современный уровень развития средств для прямых и дистанционных измерений (в том числе с помощью спутников) и контроля содержания озона в атмосфере, эффективные численные методы и мощные вычислительные машины создали необходимую основу для контроля содержания озона и моделирования процессов, влияю-

щих на его изменения. Именно в таком сочетании эксперимента и моделирования можно будет получать надежные прогностические оценки возможных антропогенных воздействий на «озонный щит» планеты.

Озонный слой и стратосфера являются своеобразным химическим и динамическим «фильтром», задерживающим поступление составляющих антропогенного происхождения в верхние слои атмосферы. По крайней мере в настоящее время отсутствуют какие-либо экспериментальные данные, указывающие на поступление компонентов типа фреонов, например, в мезосферу или нижнюю термосферу. Можно полагать, что эти компоненты гибнут в химических процессах в стратосфере или, в случае их длительного существования, участвуют в замкнутом динамическом цикле в нижних слоях атмосферы.

Однако этого нельзя сказать о радиоизлучениях наземных источников, которые свободно распространяются по крайней мере до ионосферы. Именно эти излучения наряду с выбросами транспортных космических систем служат проявлениями производственной деятельности человека в околоземном космическом пространстве и являются важным аспектом экологии этого пространства.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭФИР ВО ВРЕМЕНА ФАРАДЕЯ И СЕГОДНЯ

Если бы во времена М. Фарадея, заложившего в середине прошлого века основы учения об электромагнетизме, какая-то цивилизация проводила поиски братьев по разуму, прослушивая электромагнитный эфир, то можно быть уверенными, что в районе Солнечной системы она никаких признаков земной цивилизации не обнаружила бы. Однако в наши дни при таком поиске должно быть зарегистрировано в Солнечной системе «пятно» радиоизлучения, имеющее явно искусственную природу. Искусственное происхождение излучения подтвердилось бы и зависимостями излучений от времени и их спектральными характеристиками.

Это искусственное «радиопятно», так контрастно выделяющееся на фоне радиоизлучения других небесных тел,— наша планета. Естественное радиоизлучение в окрестности Земли складывается из различных источни-

ков: атмосферных электрических помех, теплового радиоизлучения Земли, космического радиоизлучения, радиоизлучения Солнца и планет. Именно эти источники определяли характеристики электромагнитного эфира во времена М. Фарадея. Однако в настоящее время земная цивилизация обеспечивает значительную долю радиоизлучений в околоземном пространстве.

Можно сказать, что цивилизация «шумит» во всех диапазонах радиоспектра — от очень низкочастотного (менее 30 кГц) до сверхвысокочастотного (более 3 ГГц), заметно изменяя естественную электромагнитную обстановку около Земли. Правда, если смотреть из космоса, то «радиопятно» излучает преимущественно на высоких радиочастотах (более 30 МГц), поскольку радиоизлучения на более низких частотах эффективно экранируются ионосферой.

Источниками искусственных радиоизлучений, хотя и малой интенсивности, являются также спутники и другие космические аппараты, вращающиеся вокруг Земли. Несмотря на небольшую мощность бортовых радиопередатчиков (как правило, менее 100 Вт), они тем не менее уже вносят заметные помехи при проведении радиоизмерений (например, при осуществлении радиоастрономических исследований).

Электромагнитный эфир в наши дни настолько насыщен искусственными радиоизлучениями, что Международному союзу электросвязи пришлось «наводить порядок», строго распределяя частотные диапазоны между различными потребителями. И все же в эфире «тесно», и в этом легко убедиться, покрутив ручку настройки радиоприемника. Таким образом, мы имеем дело со своеобразным «электромагнитным загрязнением среды» — в данном случае радиоэфира.

При больших плотностях радиоизлучений (когда напряженность полей искусственной радиоволны сопоставима или превышает напряженность естественных полей в ионосферной плазме) над отдельными радиостанциями, особенно в коротковолновом диапазоне, наблюдаются заметные воздействия искусственных радиоизлучений на параметры околоземной плазмы.

Если облучать ионосферу мощным радиоизлучением, то за счет изменения параметров ионосферной плазмы можно создавать искусственные «ионосферные

линзы» или «ионосферные зеркала»¹, т. е. искусственные неоднородности в ионосфере, влияющие на распространение радиоволн. Такие явления интенсивно исследуются в последние годы с использованием мощных наземных радиопередатчиков, работающих в частотном диапазоне 1—15 МГц.

Расчеты показывают, что использование только одного такого «ионосферного зеркала» с диаметром около 100 км на высоте 300 км позволяет охватить УКВ-связью площадь 3—5 млн. км². Система из 10—20 «ионосферных зеркал» могла бы образовать своеобразную искусственную ионосферу, обеспечивающую радиосвязь в УКВ-диапазоне и даже телевизионную связь на территории, равной территории Европы.

Общая схема процессов, происходящих при воздействии мощного радионизлучения на ионосферу, такова. Электроны ионосферной плазмы, ускоряясь электрическим полем радиоволны, приобретают дополнительную кинетическую энергию. Часть этой энергии они передают ионам и нейтральным частицам посредством столкновений. В результате происходит увеличение средней кинетической энергии частиц плазмы, иными словами, происходит нагрев ионосферной плазмы. Последний вызывает изменение проводимости плазмы и некоторых других параметров.

Если напряженность электрического поля радиоволны мала (а она прямо связана с величиной потока передаваемой энергии), то создаваемые в ионосфере изменения незначительны и они не влияют на распространение радиоволны. Если же напряженность поля волны велика (критерием здесь является сопоставление с собственным плазменным полем, которое определяется параметрами плазмы), то вносимые в ионосферную плазму возмущения существенно влияют на условия распространения волны и зависят от ее амплитуды.

В последнем случае возникают так называемые нелинейные явления в ионосфере, связанные с ее нагревом проходящей радиоволной, а этот нагрев влечет за собой изменение концентрации электронов в зоне прохождения радиоволны. Характер протекания процессов воздействия существенно зависит от высоты. В *F*-области ионо-

¹ См.: Гуревич А. В., Шварцбург А. Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. М., Наука, 1973.

сферы нагрев сопровождается уменьшением плотности плазмы в результате частичного ухода, «выталкивания», плазмы из нагретого пространства. В расположенных ниже E - и D -областях нагрев плазмы вызывает увеличение электронной концентрации за счет того, что в нагретой плазме менее эффективно идет процесс электронной рекомбинации.

Исследования нелинейных процессов в ионосферной плазме, происходящих при воздействии мощных радиоволн наземных радиопередатчиков, явились основой для оценок возможного воздействия на ионосферу мощного СВЧ-пучка, излучаемого с борта ССЭ на Землю. Как уже отмечалось, энергию, вырабатываемую ССЭ на геостационарной орбите, предполагалось передавать на Землю с помощью пучка радиоволн в СВЧ-диапазоне. По имеющимся оценкам, при мощности ССЭ 5—10 ГВт передающая бортовая антенна должна иметь диаметр около 1 км, а наземная приемная антенна — около 10 км.

С целью уменьшения габаритов антенн желательно использовать для передачи энергии СВЧ-пучок возможно меньшего диаметра, а это требует увеличения плотности потока энергии в пучке, т. е. увеличения энергии, передаваемой за 1 с через 1 м² поперечного сечения пучка. Однако эффекты взаимодействия радиоволн с ионосферной плазмой и являются препятствием на пути такого увеличения плотности энергии пучка.

На основании имеющихся данных можно полагать, что «экологическая нагрузка» радионизлучающих средств на ионосферу в настоящее время невелика. Однако со временем, особенно над промышленно развитыми районами земного шара, эта возрастающая «нагрузка» может каким-то образом проявиться в ионосфере. В результате ионосфера над промышленными районами земного шара может несколько отличаться от ионосферы, скажем, над пустынями или океанами. Насколько это окажется важным для цивилизации — вопрос, на который должны дать ответ будущие исследования «экологии» ионосферы.

Если нелинейные явления при воздействии мощных ВЧ- и СВЧ-радиоволн проявляются преимущественно в ионосфере, то воздействие мощных низкочастотных излучений особенно заметно в магнитосфере. Некоторые неожиданные последствия такого рода воздействий,

имеющие явно антропогенный характер, рассмотрены в следующем разделе.

УИКЭНД В КОСМОСЕ

В июне 1980 г. в Будапеште во время очередной XXIII сессии КОСПАР было проведено заседание, тема которого была не совсем обычной даже для этой организации, правилом которой является представление и обсуждение только последних, самых «свежих», данных экспериментальных исследований. «Круглый стол» — так обычно называют обсуждение актуальных и спорных вопросов — собрал ученых разных стран и различных специальностей. Дискуссия, развернувшаяся за «круглым столом», была посвящена вопросу о возможном влиянии электромагнитных излучений промышленных комплексов и систем связи на ионосферу и магнитосферу.

Одним из поводов горячей дискуссии послужил так называемый эффект уикэнда (т. е. «конца недели»), обнаруженный при проведении измерений очень низкочастотных (ОНЧ) электромагнитных излучений на поверхности Земли и в космосе. Оказалось, что аналогичный эффект был обнаружен и при анализе геомагнитных данных.

Для того чтобы сделать понятным обсуждаемое явление, на рис. 6 приведены данные по недельным вариациям интенсивности электромагнитных ОНЧ-излучений, полученные американским ученым А. С. Фразер-Смитом. Эти данные характеризуют недельные вариации ОНЧ-излучений за 7,5-летний период, который был проанализирован А. С. Фразер-Смитом. Как видно на рис. 6, интенсивность низкочастотных излучений во время уикэнда (т. е. в субботу и воскресенье) существенно уменьшается по сравнению с рабочими днями.

Подтверждением существования эффекта уикэнда служат опубликованные А. С. Фразер-Смитом данные по вариациям уровня геомагнитной активности в течение недели, полученные для периодов невозмущенной геомагнитной обстановки. На рис. 7, где приведены усредненные данные по изменениям индекса геомагнитной активности в течение недели, отчетливо наблюдается максимум значений индекса геомагнитной активности во время уикэнда.

Поскольку природа вряд ли «живет» в такт с недель-

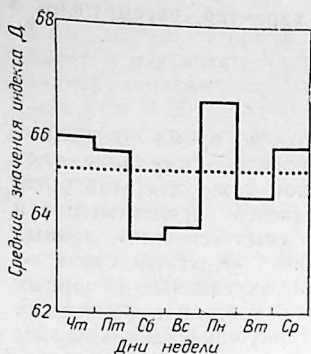


Рис. 6. Регистрация интенсивности ОНЧ-излучений в течение недели:

Д — индекс интенсивности ОНЧ-излучений (пунктирной линией указано среднее значение индекса)

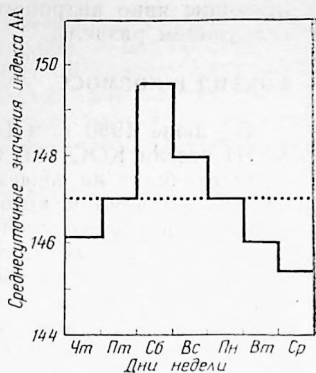
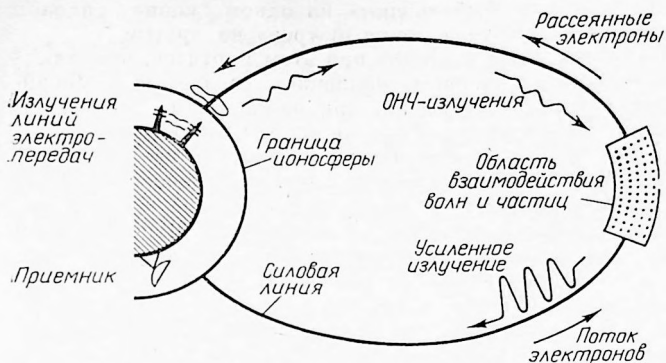


Рис. 7. Вариации индекса геомагнитной активности (индекса АА) в течение недели

ным циклом деятельности человека, естественно предположить, что обнаруженный эффект уикэнда в уровнях геомагнитной активности и ОНЧ-излучений представляет собой своеобразное «эхо» производственной деятельности земной цивилизации. Признание такой связи стимулировало поиски других проявлений «земной» производственной деятельности человека в околоземном космическом пространстве.

Значительный вклад в эти исследования внесла группа американских геофизиков, руководимая профессором Р. Хелливелом, которая в течение длительного периода проводила измерения ОНЧ-излучений на антарктической исследовательской станции Сайпл. Геомагнитно сопряженная область (т. е. находящаяся на противоположном конце силовой линии) соответствовала промышленно развитому району Канады вблизи города Роберваль.

Схема экспериментов, в которых на станции Сайпл проводились измерения ОНЧ-излучений промышленных источников этих излучений, расположенных в Канаде, показана на рис. 8. ОНЧ-волны, излучаемые с поверх-



Р и с. 8. Схема экспериментов Хелливела по регистрации ОНЧ-излучений промышленного происхождения

ности Земли, частично проникают через ионосферу и распространяются в магнитосферном волноводe, выходя через ионосферное основание волновода над станцией Сайпл. Эти излучения по дороге могут взаимодействовать с частицами радиационных поясов, и результат такого взаимодействия носит двоякий смысл. С одной стороны, в определенных условиях частицы могут передавать свою энергию распространяющейся волне и тем самым усиливать ее, с другой — взаимодействие ОНЧ-волн с частицами может нарушать условия захвата частиц в геомагнитной ловушке и вызывать их высыпания в атмосферу. Наконец, сами частицы, излучающие в ОНЧ-диапазоне, могут изменять свой спектр излучения, в результате чего возникают «триггерные» стимулированные излучения в ОНЧ-диапазоне.

Поскольку ОНЧ-излучения легко сделать слышимыми, то все эти процессы взаимодействия волн и частиц можно представить в виде сложной гармонии (или какофонии?!) звуков. Так вот, в этом сложном звучании магнитосферного «оркестра» группе Р. Хелливела удалось выделить в Антарктиде хорошо слышимые тона, соответствующие гармоникам излучений линий электропередач канадского промышленного региона. Более того, оказалось, что магнитосфера действует как мощный уси-

литель (вспомним взаимодействие волн и частиц), который может слабый «шепот» на одном конце силовой трубки превратить в мощный «рев» на другом.

Правда, чистые «тона» при этом портятся, появляются «хрипы», «трески» и «шипения», связанные с генерацией побочных излучений при нелинейном взаимодействии ОНЧ-волн с частицами радиационных поясов.

Результаты экспериментов Р. Хелливела стимулировали поиски «промышленного эха» уже непосредственно в магнитосфере путем измерений ОНЧ-излучений и потоков энергичных частиц на спутниках. Действительно над промышленно развитыми районами Северной Америки и Европы средний уровень ОНЧ-излучений в магнитосфере оказался выше, чем над остальными областями земного шара. Тот факт, что область повышенных интенсивностей ОНЧ-излучений над этими областями совпадала с «зазором» между внутренним и внешним радиационными поясами, позволил некоторым ученым высказать предположение, что этот «зазор» обусловлен промышленной деятельностью человека, т. е. воздействием ОНЧ-излучений промышленного происхождения на радиационные пояса Земли.

Этот довольно «радикальный» вывод встретил резкие возражения со стороны ряда ведущих специалистов по физике магнитосферы, которые утверждали (и аргументированно), что наблюдаемые вариации ОНЧ-излучений и потоков энергичных частиц могут быть объяснены естественными причинами. Итак, мнения разделились... Кто прав?

Этот вопрос можно было бы решить довольно просто постановкой всего лишь одного эксперимента. Для этого достаточно было бы просто выключить на Земле все источники ОНЧ-излучений, т. е. электростанции, промышленные предприятия, и посмотреть, что при этом «делается» в околоземном пространстве.

Увы, такой «простой» эксперимент за пределами возможностей не только ученых, но и цивилизации. Но выход может быть найден на пути тщательных патрульных наблюдений и измерений параметров околоземной среды (см. раздел, посвященный мониторингу околоземной среды), а также путем постановки специальных контролируемых экспериментов с ОНЧ-излучениями. Такие эксперименты, относящиеся к так называемым активным

экспериментам, также подробнее рассмотрим чуть позже.

Здесь же укажем, что к настоящему времени в основном усилиями советских ученых (во главе с О. А. Молчановым) и американских ученых (во главе с Р. Хелливелом) проведена серия активных экспериментов, в которых изучались особенности «отклика» в магнитосфере на контролируемое воздействие, осуществляемое с помощью мощных наземных ОНЧ-передатчиков. Эксперименты с контролируемой «закачкой» ОНЧ-излучений в магнитосферу подтвердили возможность дистанционного воздействия на частицы радиационных поясов, на уровень интенсивности ОНЧ-излучений в околоземном космическом пространстве.

Результаты этих исследований заложили экспериментальную основу физики нелинейных взаимодействий волн и частиц в магнитосфере Земли. С другой стороны, они указали на возможность контроля «заселенности» радиационных поясов Земли путем «закачки» ОНЧ-излучений в магнитосферу. В этой области физика околоземного пространства стоит на пороге новых открытий.

Что же касается эффекта уикэнда, то можно сказать, что до окончательного заключения ждать осталось недолго. Для проблем экологии околоземного пространства, рассматриваемых в брошюре, подтверждение эффекта уикэнда будет не просто любопытным фактом — оно будет означать, что антропогенные явления в космическом пространстве, связанные с наземной промышленной деятельностью человека, сопоставимы по своим масштабам и значимости с естественными процессами в магнитосфере.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ ОКОЛОЗЕМНОЙ СРЕДЫ

Хотя экология околоземного пространства как наука сама по себе еще только зарождается и ее представления и методология в окончательном виде пока не определены, в то же время она уже достигла определенной степени «зрелости», характеризуемой переходом от наблюдения к эксперименту, к активным методам исследования окружающего мира. Действительно, в настоящее время происходит постепенный переход к использованию активных методов исследований околоземной среды,

когда околоземное пространство из объекта наблюдений превращается в своего рода гигантскую природную лабораторию, используемую учеными для различных целей.

Можно сравнить околоземное космическое пространство со своеобразной плазменной установкой, которая открывает уникальные возможности для экспериментаторов при исследованиях плазменных процессов в космосе. Это новое направление изучения околоземной среды с широким применением активных методов получило название «активные эксперименты» в космосе¹ и в настоящее время широко развивается в нашей стране и за рубежом.

Термин «активные эксперименты» подчеркивает различие новых методов исследования околоземного пространства по сравнению с традиционными наблюдательными пассивными методами, при которых проводятся только измерения параметров среды. При использовании активных методов изучается реакция околоземной среды на контролируемое возмущение, производимое путем инъекции плазмы, нейтрального газа, пучков частиц и электромагнитных излучений. Поэтому иногда эксперименты в космосе, связанные с использованием активных методов, называют контролируемыми. Это подчеркивает связь между откликом среды и начальным возмущением, параметры которого контролируются.

В зависимости от степени возмущения среды активные эксперименты могут быть разделены на две группы. К первой группе относятся эксперименты типа меченых атомов, которые практически не возмущают среду, а в основном «трассируют» процессы и явления. Эксперименты второй группы предполагают осуществление локальных «дозированных» возмущений среды.

Классическим примером экспериментов первого типа является исследование процессов в околоземном пространстве с помощью искусственно создаваемых светящихся облаков, которые образуются в результате инъекции паров щелочных металлов: лития, натрия, бария, цезия с борта ракет и космических аппаратов. Первые эксперименты такого рода были проведены еще в самом начале космической эры².

¹ См.: Подгорный И. М. Активные эксперименты в космосе. М., Знание, 1974.

² См.: На пороге в космос. М., Иностранная литература, 1960.

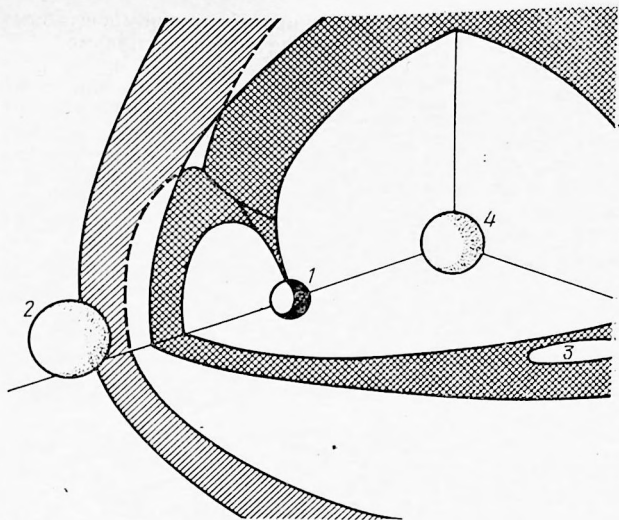


Рис. 9. Схема активных экспериментов по программе АМПТЕ: 1 — Земля, 2 — литиевое облако в солнечном ветре, 3 — искусственная барьерная комета в утреннем секторе магнитосферы, 4 — литиевое облако в хвосте магнитосферы

Эффективной демонстрацией возможностей этого метода исследований стали международные эксперименты по программе АМПТЕ (аббревиатура с английского «Активные эксперименты по трассированию магнитосферных процессов»), в ходе которых в течение сентября 1984 г.— мая 1985 г. производилась инжекция паров лития и бария на значительных расстояниях от поверхности Земли (до 18 радиусов планеты): в солнечном ветре перед магнитосферой Земли, в утреннем секторе и в хвосте магнитосферы (рис. 9).

В первом из этих экспериментов по наблюдениям за динамикой облака ионов лития изучались особенности взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой, в двух других — образование искусственной кометы в магнитосфере Земли. Данные, полученные в этих экспериментах, указывают на ряд не известных ранее явле-

ний, сопровождающих образование крупномасштабных искусственных структур в магнитосферной плазме.

Активные методы дают возможность и изучить в контролируемых условиях основные физические процессы, протекающие при антропогенных воздействиях на околоземное пространство, которые были рассмотрены в предыдущих разделах. Они позволяют также глубже понять явления, возникающие при взаимодействии космических аппаратов с окружающей средой¹. В частности, с использованием активных методов можно определять преимущественные «каналы» антропогенных воздействий, эффективность их влияния на различные области околоземного пространства. Наконец, что весьма важно, активные эксперименты дают информацию для оценки масштабов антропогенных воздействий и их последствий, а также для установления «экологических границ» космических экспериментов и производственной деятельности в космосе.

Понятие «экологические границы» используется для обозначения ограничений «...на такие воздействия, которые приводят к нежелательным возмущениям планетарной и космической среды или к разрушению уникальных космических объектов»². Проблема определения «экологических границ» человеческой деятельности в околоземном пространстве весьма актуальна в связи с попытками использования околоземной космической среды для развертывания агрессивными кругами США работ по программе так называемой «стратегической оборонной инициативы» (СОИ). Можно вспомнить и имевшие печальную славу эксперименты, проводившиеся в начале 60-х годов военными ведомствами США, когда в околоземном пространстве с помощью ядерных взрывов создавались искусственные радиационные пояса. В свое время протесты широкой общественности вызвали и эксперименты по созданию в космическом пространстве поясов из мелких медных иголок, которые использовались США для повышения эффективности систем радиосвязи армии и флота.

Некоторые примеры успешного применения активных

¹ См.: Акишин А. И., Новиков Л. С. Электризация космических аппаратов. М., Знание, 1985.

² Севастьянов В. И., Старостин А. М., Урсул А. Д. Космонавтика и научный эксперимент. М., Знание, 1979.

методов для решения задач экологии околоземного пространства уже известны. Так, для изучения рассматривавшегося ранее эффекта образования ионосферных «дыр» были выполнены активные модельные эксперименты с выпуском в ионосферу специальных компонентов (H_2 , H_2O , CO_2 и др.), уменьшающих концентрацию электронов в ионосфере. Полученные в этих экспериментах данные позволили глубже разобраться в сложном комплексе газодинамических, плазменных и аэрономических процессов, приводящих к образованию «дыр», и проверить существующие модели искусственных возмущений ионосферы.

Ценную информацию для решения проблем экологии околоземного пространства дали и эксперименты по воздействию на ионосферную и магнитосферную плазмы мощных радиоизлучений, результаты которых были рассмотрены нами ранее.

Таким образом, хотя сегодня экспериментальная экология околоземного пространства делает свои первые шаги, она, безусловно, будет развиваться дальше в связи с ее огромным значением для изучения и прогноза антропогенных явлений в околоземном пространстве, для определения «экологических границ» исследовательской и производственной деятельности в околоземной среде. Ближайшее будущее позволит уточнить предмет, методологию и принципы экспериментальной экологии околоземного пространства.

МОНИТОРИНГ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассматривая околоземное космическое пространство как часть окружающей природной среды, целесообразно распространить на экологию этого пространства основные представления и концепции, которые были развиты в экологии биосферы. В основе экологии природной среды лежат наблюдения и контроль, или, как принято называть, мониторинг антропогенных изменений состояния окружающей среды¹.

Значительный вклад в развитие концепции мониторинга природной среды внесли советские ученые. Ряд основополагающих проблем мониторинга был разрабо-

¹ См.: Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. Л., Гидрометеиздат, 1979.

тан коллективом ученых под руководством члена-корреспондента АН СССР Ю. А. Израэля¹. Согласно представлениям о мониторинге природной среды, развитым в работах этого коллектива, важнейшими задачами мониторинга являются наблюдения и контроль состояния природной среды с помощью существующих геофизических служб; оценка качества природной среды с помощью системы разработанных критериев антропогенных воздействий и выработка приоритетов для принятия эколого-экономических и социальных мер с целью обеспечения рационального природопользования; разработка научно обоснованного прогноза антропогенных воздействий на окружающую среду.

Мониторинг базируется на системе наблюдений и контроля природной среды. Для контроля загрязнений в нашей стране создана и функционирует Общегосударственная система наблюдений и контроля за загрязненностью объектов природной среды (ОГСНК). Эта система, включающая в себя тысячи постов и пунктов измерений, обеспечивает контроль загрязнений атмосферного воздуха в городах и промышленных районах, уровня загрязнений пресных и морских вод, степени загрязнения почв.

Всевозрастающую роль в комплексном мониторинге природной среды играют дистанционные методы исследований, наблюдения и контроля с использованием космической техники. Наблюдения метеорологической обстановки и контроль атмосферных параметров с помощью космической системы «Метеор», решение геологических проблем, оценки водных, почвенных и биологических ресурсов с использованием орбитальных станций «Салют», исследования ледовой обстановки, состояния почв и облачности СВЧ-методами с помощью спутников «Космос» — все это яркие примеры эффективного применения дистанционных методов и космической техники для исследований и диагностики состояния различных компонентов природной среды².

¹ См.: Израэль Ю. А., Гасилина Н. К., Ровинский Ф. Я. Система наблюдений и контроля загрязнений природной среды в СССР.— Метеорология и гидрология, 1978, № 10.

² См.: Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. Л., Гидрометеониздат, 1972; Космическая информация в геологии. М., Наука, 1978; Калинин Г. П., Курилова Ю. В., Колосов П. А. Космические методы в гидрологии. Л., Гидрометеониздат, 1977.

В рамках космического мониторинга проводятся наблюдения и контроль загрязнений и антропогенных воздействий на биосферу, для чего используются снимки, получаемые на борту орбитальной станции «Салют», и данные дистанционного зондирования земной поверхности и атмосферы Земли с борта различных космических аппаратов¹. Космический мониторинг обладает рядом важных преимуществ по сравнению с другими методами наблюдения и контроля загрязнений природной среды, обеспечивая высокий уровень обобщения данных по загрязнению среды, глобальный охват антропогенных эффектов, оперативность получения информации по экологической ситуации в различных областях земного шара. Космический мониторинг существенно дополняет наземные, самолетные и корабельные средства наблюдений и контроля природной среды и позволяет объединить данные о состоянии окружающей среды на основе информации, полученной из космоса.

Возвращаясь к проблемам экологии околоземного космического пространства, отметим, что целесообразно для обозначения всего круга вопросов, связанных с контролем только антропогенных воздействий, использовать термин «мониторинг» околоземного космического пространства. Этим подчеркивается отличие этого термина от определения космического мониторинга, смысл и назначение которого пояснены выше. По аналогии с рассмотренными ранее проблемами мониторинга биосферы задачи мониторинга околоземного космического пространства можно определить следующим образом: наблюдение и контроль изменений состояния околоземного пространства в результате антропогенных воздействий; выработка критериев антропогенных воздействий на это пространство и методов оценки качества состояния околоземной среды как части природной среды; разработка прогноза возможных последствий возрастающей антропогенной «нагрузки» на околоземное космическое пространство.

Мониторинг околоземного космического пространства должен основываться на проведении регулярных измерений и наблюдений наиболее важных параметров, характеризующих «качество» околоземной космической

¹ См.: Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М., Наука, 1984.

среды и ее изменения в результате антропогенных воздействий. При этом сразу возникает вопрос: какие параметры надо измерять и с какими требованиями к пространственной и временной частоте измерений? Ведь контроль антропогенных факторов и явлений в околоземном космическом пространстве затруднен из-за значительной естественной изменчивости околоземной среды, неопределенности и многообразия источников и факторов естественного и антропогенного происхождения, влияющих на околоземное пространство.

При выборе параметров, характеризующих антропогенные явления, можно выделить две их группы. К первой группе относятся, например, концентрации компонентов, непосредственно загрязняющих околоземное пространство. Эти компоненты поступают в это пространство в результате производственной деятельности человека (например, фреоны, окислы азота, соединения хлора, изотопы криптона и т. п.), а также вносятся в результате функционирования ракетно-космических систем. К этому же классу параметров, по-видимому, можно отнести и интенсивность антропогенных электромагнитных излучений, «загрязняющих» околоземную космическую среду.

Ко второй группе относятся ранее перечисленные параметры, которые характеризуют естественное состояние верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы и претерпевают значительные изменения в результате антропогенных воздействий. Измерение естественных параметров околоземной среды наряду с регистрацией антропогенных факторов и компонентов может обеспечить полноту информации, необходимую для наблюдений, исследований и контроля явлений антропогенного происхождения.

При этом необходимо решить комплекс проблем, связанных с разработкой методик и технических средств контроля, подготовкой и организацией систем наблюдений и измерений. Основой контроля околоземной космической среды должны стать прямые и дистанционные измерения параметров околоземного космического пространства с использованием аппаратуры, установленной на космических аппаратах, поскольку только космические средства наблюдений могут обеспечить глобальный и оперативный контроль за состоянием околоземной

среды в естественных условиях и при антропогенных воздействиях.

Существенным и весьма важным дополнением в системе контроля антропогенных явлений должны стать сопутствующие измерения различных характеристик околоземной среды (в том числе и факторов антропогенного происхождения) с помощью наземных, самолетных и корабельных оптических, лидарных и радиофизических комплексов. Для обеспечения контроля за состоянием околоземного космического пространства должна быть создана не только комплексная наземно-космическая система средств наблюдений и измерений параметров околоземной среды, но и подготовлены пункты приема и обработки информации, каналы связи для передачи информации в центры обработки и анализа данных.

Введение в действие всей системы комплексного мониторинга околоземной среды — дело будущего. Однако уже в настоящее время в нашей стране проводятся большие работы по созданию систем контроля, которые в той или иной степени решают или будут решать задачи мониторинга околоземного космического пространства. Так, в Государственном комитете СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды создана и развивается гелиогеофизическая служба, предназначенная для контроля и прогноза солнечной активности и естественного состояния верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли¹.

Эта служба опирается на развитую наблюдательную сеть, включающую искусственные спутники Земли «Прогноз», «Метеор» и другие, наземные станции вертикального и наклонного зондирования ионосферы, магнитные станции и обсерватории, лидарные комплексы, станции ракетного зондирования атмосферы. С помощью своих наблюдательных средств гелиогеофизическая служба обеспечивает контроль радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, состояния магнитного поля и ионосферы. Сеть радиотелескопов, установленных в различных пунктах на территории нашей страны и на кораблях, а также оптические приборы космических аппаратов дают возможность контролировать уровень солнечной активности.

¹ См.: Авдюшин С. И. Гелиогеофизическая служба, ее задачи и перспективы развития.— Метеорология и гидрология, 1981, № 6.

Информация с наблюдательных средств службы поступает в главный гелиогеофизический центр и региональные центры, которые оснащены современными информационно-вычислительными средствами, позволяющими автоматизировать сбор, обработку, анализ и выдачу данных заинтересованным потребителям. Важной стороной деятельности службы является разработка методов прогнозирования состояния околоземного космического пространства и выдача прогнозов. В рамках службы проводятся работы по созданию теоретических и эмпирических моделей верхней атмосферы, ионосферы и магнитосферы, имеющие важное значение для прогнозирования состояния околоземной среды и антропогенных явлений в ней.

Принципиальным этапом в развитии будущего мониторинга околоземного космического пространства должна стать разработка критериев для оценок антропогенных воздействий. В этом отношении существенную помощь смогут оказать активные методы исследований, с использованием которых можно будет получить данные по различным параметрам антропогенных воздействий и определить такие параметры, как «пределы допустимых воздействий» или другие критерии, являющиеся аналогами соответствующих критериев антропогенных воздействий, используемых в комплексном мониторинге приземной среды.

С использованием критериев антропогенных воздействий можно будет определить возможные диапазоны антропогенных изменений параметров околоземного пространства. Совокупность этих критериев, применяемых для определения «качества» околоземной среды как части природной среды, вместе с данными прогноза антропогенных воздействий на околоземное космическое пространство явится основой для эколого-экономических оценок. С их помощью станет возможным разработать рекомендации по минимизации антропогенной «нагрузки» на околоземное пространство и оптимальному хозяйственному его освоению.

«ЗВЕЗДНЫЕ ВОЙНЫ» — ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА

Огромный научно-технический потенциал космической техники, который должен служить делу мира и прогресса, империалистические круги США и их запад-

ных союзников пытаются использовать в военных целях, для того чтобы с помощью космических систем вооружений обеспечить себе одностороннее военно-стратегическое преимущество перед СССР и странами социалистического содружества. Еще около 20 лет назад бывший президент США Л. Джонсон заявлял: «Кто будет господствовать в космосе, тот будет «руководить миром»¹.

В последующие годы тенденция рассматривать космос как арену острых конфронтаций, как «четвертое измерение» театра военных действий (в дополнение к сухопутному, морскому и воздушному) получила развитие в виде ряда разработанных в США военно-политических доктрин, отражающих имперские амбиции американских стратегов и их попытки путем переноса гонки вооружений в космос нарушить сложившееся военно-стратегическое равновесие в мире.

Курс США на тотальную милитаризацию космоса, на подготовку «звездных войн» получил свое наиболее полное выражение в телевизионном выступлении президента США Р. Рейгана 23 марта 1983 г., в котором он объявил о программе разработки так называемой противоракетной обороны (ПРО) с элементами космического базирования. Для того чтобы замаскировать агрессивную сущность этой программы, ее авторы подчеркивают якобы исследовательский характер работ, преподносят ее как «стратегическую оборонную инициативу» (СОИ), а всю систему ПРО с элементами космического базирования именуют не иначе как «космический щит».

Учитывая тему, которой посвящена брошюра, мы остановимся лишь на одном аспекте милитаризации космоса, связанном с возможными последствиями «звездных войн» для околоземного пространства как части окружающей среды.

Неизбежной экологической катастрофой грозит обернуться для человечества ядерная война, какой бы она ни провозглашалась — «ограниченной», «локальной» или «приемлемой»². В настоящее время в научной печати широко обсуждаются геофизические и экологические аспекты возможных последствий термоядерного

¹ См.: Космос: каким его видят из Вашингтона. М., Прогресс, 1985.

² См.: Вавилов А. М. Экологические аспекты последствия гонки вооружений. М., Международные отношения, 1984.

конфликта, к основным из которых относятся такие, как разрушение «озонного щита» нашей планеты, «аэрозольная катастрофа»¹, «ядерная зима» (резкое глобальное похолодание атмосферы после ядерных взрывов), изменение динамического и гидрологического режима атмосферы.

Необходимо отметить, что иногда «от имени науки» излагаются весьма сомнительные и вызывающие сожаление концепции, которые так или иначе оправдывают наращивание ядерных вооружений. В этом отношении можно упомянуть и неоднократные высказывания печально известного «отца водородной бомбы» Э. Теллера, а также доклад группы экспертов Национальной академии наук США 1975 г. «Долговременные глобальные последствия многократного применения ядерного оружия». В этом докладе утверждается, что «...тотальный ядерный конфликт... не приведет к катастрофическим последствиям для человечества и биосферы Земли».

Советские ученые, а также большинство ученых за рубежом решительно выступают против такой дезориентации общественного мнения. Академик К. Я. Кондратьев и Г. А. Никольский, ссылаясь на результаты, полученные при испытаниях ядерного оружия в атмосфере, пишут: «...ядерный конфликт может привести человечество к экологической катастрофе, в результате которой погибнет цивилизация на планете Земля»². Крупномасштабный ядерный конфликт неизбежно повлечет за собой глобальный экологический кризис в биосфере. Катастрофические последствия такого конфликта могут проявляться на огромных территориях земной поверхности, а не только в районах, непосредственно подвергшихся ядерному удару.

При совершении ядерных ударов в космосе эффекты воздействия на околоземное космическое пространство как часть природной среды окажутся еще более катастрофическими. Значительная уязвимость околоземной среды обусловлена ее малой массой и энергией по

¹ См.: Израэль Ю. А. Экологические последствия ядерной войны.— Метеорология и гидрология, 1983, № 10; Будыко М. И. Аэрозольные климатические катастрофы.— Природа, 1985, № 6; Голицин Г. С. Последствия ядерной войны для атмосферы.— Природа, 1985, № 6.

² Кондратьев К. Я., Никольский Г. А. Возможные воздействия ядерного конфликта на атмосферу и климат. М., 1984.

сравнению с этими параметрами для приземной атмосферы, в результате чего даже небольшие локализованные воздействия могут вызвать заметные возмущения в околоземной среде. Достаточно сказать, что энергии геомагнитной бури — глобального геофизического явления, развивающегося после солнечных вспышек, — составляет около 10^{21} — 10^{22} эрг. Такого же порядка была энергия, выделившаяся при взрыве атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму. Таким образом, взрыв в космосе только одной, относительно малой атомной бомбы может существенно изменить энергетический баланс околоземного пространства.

Ряд возможных геофизических последствий ядерного удара в космосе можно предсказать на основе результатов исследований ядерных взрывов, проведенных в конце 50-х — начале 60-х гг. (экспериментальные ядерные взрывы «Морская звезда», «Аргус» и др.)¹. Один из наиболее исследованных эффектов высотных ядерных взрывов — это нарушения «озонного щита». По имеющимся оценкам, при мощности ядерного взрыва 1 Мт образуется около 10^{32} молекул окиси азота, которая, как указывалось выше, эффективно уничтожает молекулы озона.

При серии ядерных взрывов мощностью около 10^4 Мт (такая величина прогнозируется одним из сценариев ядерного конфликта) уменьшение содержания озона в полушарии, где произошел конфликт, достигнет 30—60% от общего содержания. Такие возмущения озонного слоя могут вызвать значительные воздействия солнечного излучения на биосферу, нарушения радиационного и динамического режима атмосферы.

При указывавшейся уже совокупной мощности ядерных взрывов 10^4 Мт в стратосферу будет выброшено около 10^7 — 10^8 т пыли, что приведет к снижению освещенности земной поверхности на несколько процентов в течение 1—3 лет. Гораздо большее снижение освещенности (на 90% и более) и значительное изменение отражающей способности поверхности Земли и атмосферы могут быть вызваны задымлением атмосферы в результате возникновения многочисленных пожаров при тотальном ядерном конфликте.

Эти факторы наряду с прямым влиянием многочис-

¹ См.: Операция «Морская звезда». М., Атомиздат, 1964; Операция «Аргус». М., Атомиздат, 1960.

ленных ядерных взрывов на температуру и циркуляцию верхней атмосферы могут привести к коренной перестройке теплового режима и циркуляции атмосферы на различных уровнях в глобальном масштабе.

Ядерные взрывы в верхней атмосфере и околоземном космическом пространстве даже малой мощности (как, например, в рентгеновских лазерах с ядерной накачкой, разрабатываемых по программе СОИ) должны приводить к образованию искусственных радиационных поясов в космосе и значительному увеличению радиационной опасности в результате резкого возрастания потоков энергичных частиц и проникающей радиации при взрывах. При множественных ядерных взрывах в космосе структура магнитосферы и степень «заселенности» ее частицами должны принципиальным образом измениться, в результате чего образуется своего рода искусственная магнитосфера, свойства и параметры которой в настоящее время трудно предсказать.

Возникновение искусственной магнитосферы должно сопровождаться возмущениями электрических и магнитных полей, модификацией глобальных ионосферно-магнитосферных токовых цепей, образованием искусственных полярных сияний. Другой важный аспект ядерных взрывов в околоземном пространстве связан с возникновением искусственной ионосферы, характеризующейся повышенным уровнем ионизации, образованием дополнительных ионосферных слоев, генерацией мощных волновых движений.

Ядерные взрывы в космосе и сопровождающие их возмущения магнитного и электрического полей, ионосферной и магнитосферной плазмы могут стимулировать различные «триггерные» механизмы в системе магнитосфера — ионосфера — атмосфера, вызывая развитие крупномасштабных геофизических явлений, сопровождающихся выделением значительного количества энергии и глобальными возмущениями верхней атмосферы и ионосферы.

Если принять во внимание сценарии «звездных войн», рассматриваемые в программе СОИ, то они предусматривают поражение баллистических ракет и головных частей на всех фазах полета. Очевидно, что при реализации такой схемы поражения в околоземном космическом пространстве (особенно при использовании ядерных взрывов) образуется колоссальное количество

обломков различного размера, в том числе и радиоактивных, которые могут со временем выпадать на поверхность Земли, а также оставаться в космосе неопределенно долгое время, создавая постоянную угрозу для космических аппаратов, находящихся в космосе, а также и для населения во всех частях земного шара.

Таким образом, «звездные войны» — это прямая угроза существованию внешней экологической оболочки нашей планеты. Невизбежное следствие «звездных войн» — это экологическая катастрофа околоземного пространства как части природной среды, т. е. полное и непредсказуемое изменение свойств и параметров околоземной космической среды. Общая же модификация свойств биосферы и околоземной среды при развязывании ядерного конфликта будет означать тотальный «экологический коллапс» природной среды от поверхности Земли до космоса. В этой ситуации особое значение приобретает борьба против гонки вооружений на Земле и переноса ее в космическое пространство.

По-новому и особенно зловеще высветила возможные непоправимые последствия милитаризации космоса катастрофа на мысе Канаверал, когда при взрыве космического корабля «Челленджер» погибли семь американских космонавтов. Эта катастрофа еще раз указала на то, что расширяющееся освоение космического пространства, этой новой области человеческой деятельности, по-прежнему таит в себе серьезные опасности. И хотя космические системы, их элементы и аппаратура непрерывно совершенствуются, тем не менее в космических полетах всегда остается определенная доля риска, некоторая вероятность отказа техники, связанная с возрастающей сложностью космических средств.

Трагический урок катастрофы на мысе Канаверал в том, что она показала, какие страшные последствия для человечества могут быть вызваны техническими неполадками, отказом устройств и средств, входящих в сложную систему космических вооружений, какой является система СОИ. В условиях реального развертывания программы СОИ взрыв космического аппарата, подобный взрыву корабля «Челленджер», мог бы вызвать необратимое срабатывание автоматизированной системы космических вооружений, весьма вероятным следствием которого могла стать ядерная катастрофа. Поэтому гибель американских космонавтов заставляет глубже

осознать ту страшную опасность, которую таит для всего человечества гонка вооружений в космосе.

Программе «звездных войн» наша страна противопоставляет концепцию «звездного мира», т. е. последовательного мирного освоения и использования околоземного космического пространства в интересах и на благо всего человечества. Позиция СССР в вопросе о переносе гонки вооружений в космос еще раз с предельной ясностью была изложена летом 1985 г. в ответе Генерального секретаря ЦК КПСС М. С. Горбачева на обращение «Союза обеспокоенных ученых» США к руководителям СССР и США с призывом о полном запрещении космического оружия.

В своем ответе М. С. Горбачев сказал: «От имени советского руководства хочу со всей определенностью заявить, что Советский Союз не шагнет первым с оружием в космос. Мы будем прилагать все усилия, чтобы убедить и другие страны, прежде всего Соединенные Штаты Америки, не делать такого рокового шага, который неизбежно увеличил бы угрозу ядерной войны, дал бы толчок бесконтрольной гонке вооружений по всем направлениям»¹.

Последовательная и твердая позиция СССР в вопросе о милитаризации космоса нашла свое выражение в ряде конкретных предложений и инициатив на международном уровне, конечная цель которых состоит в снижении напряженности международной обстановки, в воспрепятствовании превращению космоса в арену конфронтаций, в театр военных действий.

Эта миролюбивая позиция Советского Союза была подтверждена во время женевской встречи на высшем уровне в ноябре 1985 г. Принципиально важным итогом этой встречи явилось совместное заявление руководителей двух держав о том, что «ядерная война никогда не должна быть развязана, в ней не может быть победителей». Однако договоренности по одному из ключевых вопросов — нераспространения гонки вооружений на космос — во время встречи достигнуть не удалось. Угроза «звездных войн», угроза планам мирного освоения и использования космоса остается, и поэтому по-прежнему необходимы усилия для предотвращения милитаризации околоземной среды, предотвращения экологической катастрофы в космосе.

¹ Правда, 1985, 6 июля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Будущее человечества неразрывно связано с космосом. Освоение космического пространства открыло перед человечеством новые огромные возможности для проведения научных исследований, развития производительных сил и решения самых разнообразных прикладных задач. Космонавтика является могучим средством, способствующим улучшению условий жизни на Земле, решению экологических, энергетических, продовольственных и других насущных проблем, существующих на нашей планете. Во имя достижения этих благородных целей с каждым годом будут расширяться масштабы космической деятельности человечества, все большее число людей будет подолгу жить и работать в околоземном космическом пространстве.

Как уже подчеркивалось, на современном этапе развития цивилизации значимость экологических проблем выходит за пределы планеты. Околоземная среда все более воспринимается нами как «окружающая среда», как «среда обитания». Не случайно именно в космическую эру родилось образное выражение «космический корабль Земля», на котором земляне путешествуют с ограниченными запасами воздуха, воды и пищи. Атмосфера и магнитосфера Земли создают в созокупности прочную «броню», которая защищает жителей планеты от космических «ветров и бурь» в этом путешествии.

Однако «броня» эта является и достаточно «хрупкой», чувствительной к различного рода внешним воздействиям. Если вспомнить еще, что от состояния околоземной среды зависят и многие виды деятельности человека на Земле, например радиосвязь, навигация, астрономические исследования, то становится понятной огромная важность задачи охраны околоземной среды. А восприятие этой среды как «среды обитания» приобретает широкий общечеловеческий смысл.

Развитие космонавтики явилось мощным стимулом для изучения широкого круга вопросов, связанных с антропогенными воздействиями на околоземное космическое пространство, в том числе и с воздействиями, обусловленными хозяйственной деятельностью человечества на Земле. Причем космическая техника предоставила новые действенные средства для проведения исследований в этой области.

Распространение сферы практической деятельности человечества на околоземное космическое пространство, конечно, сопряжено с увеличением антропогенных воздействий на околоземную среду. Эти воздействия объективно неизбежны так же, как и воздействия на биосферу при развитии производительных сил на Земле. Но, как мы видели, возмущения околоземной среды, создаваемые космической техникой, до настоящего времени невелики, во многих отношениях они существенно меньше возмущений, обусловленных функционированием наземных производственных комплексов.

В будущем даже при очень значительном расширении деятельности в космосе могучий человеческий разум, создавший космическую технику, несомненно, способен рационально решить и проблему ее взаимодействия с окружающей средой. Важно, что проблемы экологии околоземного космического пространства уже сейчас прочно входят в общую систему экологических знаний. Хотя для всестороннего изучения и решения этих проблем предстоит сделать еще очень многое.

Необходимо организовать мониторинг околоземной среды, разработать модели и прогнозы антропогенных воздействий на различные области околоземного пространства, подготовить и реализовать мероприятия для предотвращения или минимизации антропогенных воздействий на околоземную среду. Развернутые уже исследования проблем экологии околоземного пространства и достижения космической техники служат залогом успешной реализации этой обширной программы.

Прогресс человечества, связанный с освоением космического пространства, возможен только при сохранении космоса мирным. Милитаризация космического пространства, «звездные войны» — это открытая угроза существованию человечества, путь к экологической катастрофе. Именно поэтому лозунг «космос — арена сотрудничества, а не конфронтации», провозглашенный нашей страной, приобретает особую значимость сегодня, когда под вопрос поставлено само существование цивилизации.

В своем Политическом докладе XXVII съезду КПСС М. С. Горбачев, анализируя противоречия глобального масштаба, затрагивающие самые основы существования цивилизации, сказал: «Все отчетливее вырисовывается потребность в эффективных международных процедурах

и механизмах, которые обеспечивали бы рациональное использование ресурсов планеты как общечеловеческого достояния. Решать общечеловеческие, глобальные проблемы силами одного государства или группы государств нельзя. Здесь необходимо сотрудничество в общемировом масштабе, тесное, конструктивное взаимодействие большинства стран»¹.

В докладе подчеркивается, что «в современной обстановке нет альтернативы сотрудничеству и взаимодействию между всеми государствами» и что «сложились объективные условия, в которых противоборство между капитализмом и социализмом может протекать только и исключительно в формах мирного соревнования и мирного соперничества» и «не только сама ядерная война, но и подготовка к ней, то есть гонка вооружений, стремление к военному превосходству, объективно не могут принести политического выигрыша никому»².

¹ Материалы XXVII съезда КПСС. М., Политиздат, 1986.

² Там же.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ананьев К. В. Проблемы окружающей среды, энергии и природных ресурсов. Международный аспект. М., Изд-во МГУ, 1974.

Борисенко Е. П. Климат и его изменения. М., Знание, 1976.

Вторжение в природную среду. М., Прогресс, 1983.

Голованов Я. К. Архитектура невесомости. М., Машиностроение, 1985.

Израэль Ю. А. Экология и контроль природной среды. Л., Гидрометеиздат, 1979.

Израэль Ю. А. К стратегии охраны природной среды и рационального природопользования в СССР.— Вопросы философии, 1979, № 6.

Израэль Ю. А. Проблемы охраны природной среды и пути их решения. Л., Гидрометеиздат, 1984.

Космос: каким его видят из Вашингтона. М., Прогресс, 1985.

Красовский В. И. Штили и штормы в верхней атмосфере. М., Наука, 1971.

Лосев К. С. Климат: вчера, сегодня... и завтра? Л., Гидрометеиздат, 1985.

Споры о будущем: окружающая среда. М., Мысль, 1983.

Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс. Л., Гидрометеиздат, 1977.

Экологические последствия гонки вооружений. М., Международные отношения, 1984.

Школенко Ю. А. Философия, экология, космонавтика. М., Мысль, 1983.

НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ КОСМОНАВТИКИ*

«АРИАН» ВНОВЬ В ДЕЙСТВИИ

12 февраля с полигона Куру вновь стартовала ракета-носитель (РН) «Ариан», принадлежащая западноевропейскому акционерному обществу «Арианспейс». Целых полгода потребовалось на выяснение причин аварии при предыдущем старте РН «Ариан», их устранение и подготовку стартового комплекса для очередного запуска, в котором были выведены на орбиты искусственные спутники Земли (ИСЗ) «Спот-1» и «Викинг». Ранее США были единственными поставщиками спутниковой информации (с помощью американских ИСЗ «Лэндсат») в области геологии (в том числе и для поиска полезных ископаемых), сельского хозяйства и контроля за загрязнением окружающей среды в целях коммерческого использования различными организациями зарубежных стран. Однако разработанный и изготовленный французской фирмой «Матра» природоресурсный ИСЗ «Спот» (массой 1750 кг) обладает рядом преимуществ перед ИСЗ «Лэндсат»: более широкое покрытие земной поверхности, более высокое разрешение по местности, стереоскопичность изображений и др. Это обстоятельство, а также неполадки в работе последних ИСЗ «Лэндсат» обеспечили высокую конкурентоспособность французского природоресурсного ИСЗ (всего планируется запустить три ИСЗ «Спот»), сбытом информации которого занимается акционерное общество «Спот Имедж», объединяющее ряд фирм и организаций Франции (34% акций), Швеции и Бельгии.

ИСЗ «Спот» выводится на околополярную ($i = 98,7^\circ$) солнечно-синхронную орбиту высотой 822 км, обеспечивающую полное покрытие земной поверхности за 26 сут (полоса обзора 117 км по местности). Выбор такой орбиты стал определяющим критерием для параметров орбиты исследовательского шведского ИСЗ «Викинг», ставшего вспомогательной полезной нагрузкой при запуске РН «Ариан». Дело в том, что масса ИСЗ «Спот-1» была недостаточной для обеспечения всех массогабаритных возможностей РН «Ариан», при которых ее использование становилось наиболее эффективным. Так появился проект первого шведского ИСЗ (Швеция стала 18-й страной, обладающей собственным ИСЗ), «подгонка» которого под «недостающие» массогабаритные характеристики была поручена американской фирме «Бонинг». В результате был разработан ИСЗ «Викинг» массой 550 кг, основу которого составляет платформа высотой 0,5 м и диаметром 1,9 м, снабженная апогейным двигателем для перевода ИСЗ на высокоэллиптическую орбиту с высотой 15 000 км в апогее и 822 км в перигее. На этой платформе размещена научная аппаратура массой всего 59 кг, предназначенная для исследования различных характеристик ионосферы и магнитосферы, полярных сияний и других подобных явлений в околоземном пространстве (расчетный срок активного существования ИСЗ 8 мес.). Общая компоновка ИСЗ осуществлялась шведской фирмой «Сааб»,

* По материалам зарубежной печати и сообщениям различных информационных агентств.

в создании и изготовлении научной аппаратуры принимали участие специалисты Швеции, Франции, Дании, США и Канады. Следует отметить, что несмотря на столь, казалось бы, незначительный научный «багаж», исследования с помощью шведского ИСЗ представляют немаловажный интерес, особенно эксперимент по фотографированию ультрафиолетового свечения полярных сияний с высоты двух земных радиусов над полярной областью.

«АРИАН» КАК КОНКУРЕНТ МТКК

После трагедии на мысе Канаверал в январе этого года дальнейшее использование МТКК для запуска ИСЗ станет возможно не ранее чем через год, и это обстоятельство вновь подняло шансы РН «Ариан» в ее конкурентной борьбе с МТКК на мировом рынке по запускам ИСЗ. Задержка с развертыванием программы «Спейс Шаттл» и малая эффективность космических буксиров (КБ) для вывода ИСЗ с борта МТКК на геостационарную орбиту привели к тому, что неожиданно для многих РН «Ариан», разработанная в основном для нужд Западной Европы, стала конкурентоспособной с МТКК, в том числе и при запусках американских ИСЗ. Однако аварии при первых запусках РН «Ариан», а особенно случившаяся 13 сентября 1985 г., когда надежность этой РН казалась вполне опробированной опытом эксплуатации, естественно, настораживали ее потенциальных потребителей. Кстати, интересно отметить, что во многих неудачах РН «Ариан» и МТКК прослеживается на удивление строгая закономерность. Так, авария 12 сентября произошла при 15-м запуске РН «Ариан», а трагедия на мысе Канаверал — на 15-м запуске МТКК, предназначенном для вывода ИСЗ. Дело в том, что хотя всего было 25 запусков МТКК, но первые четыре полета предназначались для испытаний МТКК, еще четыре полета осуществлялись с блоком «Спейслэб» и еще два проводились по секретным программам Пентагона. Таким образом, остается 15 запусков МТКК, и, что удивительно, именно 2-й, 5-й и 15-й из них сопровождалась аварийными ситуациями, как и соответствующие запуски РН «Ариан». Правда, в случае РН «Ариан» аварии заканчивались потерями ИСЗ, тогда как ИСЗ, вышедшие на нерасчетные орбиты вследствие отказов КБ «ИУС» и «ПАМ-Д», в конечном итоге удалось спасти (хотя и различными путями). Но, с другой стороны, неудачи с выводом ИСЗ случались еще и при других полетах МТКК, а это порою заканчивалось потерей ИСЗ. С гибелью же американских космонавтов космонавтика США и вовсе понесла невозможный урон.

Итак, время стало решающим фактором в конкурентной борьбе РН «Ариан» с МТКК. Именно времени явно не хватало американским специалистам при развертывании программы «Спейс Шаттл» и доработках КБ, тогда как потребители весьма болезненно воспринимали потерю этого времени (ведь консервация уже готового ИСЗ на неопределенный срок стоит немалых денег). Поэтому предстоящий долгий перерыв в запусках МТКК, конечно, благоприятно должен сказаться на притоке потребителей к РН «Ариан», особенно после запуска 29 марта, впервые произведенного с нового стартового комплекса на полигоне Куру (были запущены на геостационарные орбиты 2-й бразильский ИСЗ «Бразилсат» и американский ИСЗ «Джистар»). Ввод в строй второго стартового комплекса, обеспечивающего к тому же подготовку на нем одновремен-

тию двух РН (на стартовой позиции и в месте сборки), более чем в 2 раза сокращает срок подготовки очередного запуска РН «Ариан» на полигоне Куру, увеличивая до 10 возможное число запусков в год. Однако время — не единственный фактор, привлекающий потребителей к РН «Ариан», так как ее сопереживание с МТКК в этой области происходит «на равных». По своей эффективности (по стоимости вывода 1 кг полезной нагрузки) эта РН лишь немного уступает МТКК при запуске ИСЗ на геостационарную орбиту, которая в последнее время наиболее привлекает к себе внимание, особенно в области спутниковой связи. Сложившаяся ситуация не столь уж удивительна, если учесть, что разработка РН «Ариан» с самого начала была нацелена на возможность ее использования для запуска ИСЗ на геостационарную орбиту, тогда как МТКК рассчитан в первую очередь на вывод ИСЗ на низкую орбиту (в частности, имеющую определенное значение для военных ИСЗ). Лишь с некоторым опозданием и явной недоработкой были введены в строй КБ «ИУС» и «ПАМ-Д», используемые сейчас для запуска геостационарных ИСЗ с орбиты МТКК. Ввод в строй новых вариантов РН «Ариан» («Ариан-2 и -3») еще более повысило ее эффективность, тогда как отказы КБ продемонстрировали сравнительно малую эффективность МТКК для вывода геостационарных ИСЗ.

Следующим шагом в повышении эффективности рассматриваемых космических средств стала разработка варианта «Ариан-4» для РН «Ариан» и КБ на базе ракетной ступени «Центавр» для МТКК. Ввод в эксплуатацию этих средств намечался на 1986 г., однако катастрофа на мысе Канаверал зачеркнула все надежды американских специалистов воспользоваться уже готовым новым КБ в этом году (в частности, при предполагавшихся запусках космических аппаратов «Галилей» к Юпитеру и «Улисс» к полюсам Солнца). Поэтому в случае успешного запуска РН «Ариан-4» в этом году может возникнуть удивительная ситуация, когда вывод геостационарного ИСЗ с помощью этой РН станет во всех смыслах дешевле, чем при использовании МТКК для этих же целей. Кроме того, следует сказать, что уже неоднократно промышленные круги США высказывали пожелание повысить в 2 раза тарифы на использование МТКК, руководствуясь стремлением хоть как-то возместить расходы на развертывание программы «Спейс Шаттл».

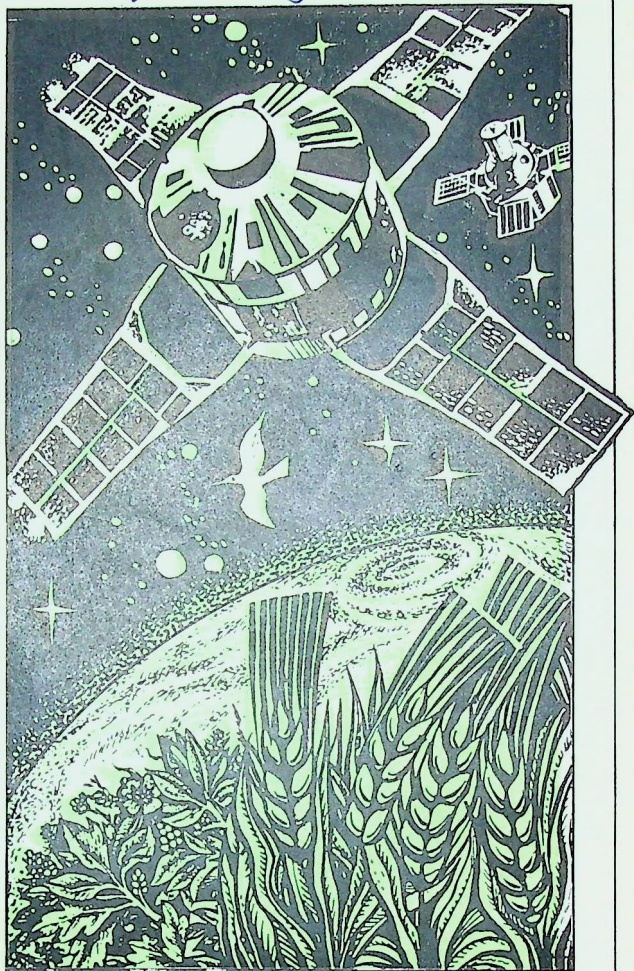
Лев Симонович Новиков,
Николай Николаевич Петров,
Юрий Александрович Романовский

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОСМОНАВТИКИ

Главный отраслевой редактор Л. А. Ерлыкин. Редактор Е. Ю. Ермаков. Мл. редактор Л. Л. Нестеренко. Обложка художника А. А. Астрцова. Худож. редактор Н. В. Лбова. Корректор В. В. Каночкина.

ИБ № 7753

Сдано в набор 18.02.86. Подписано к печати 24.04.86. Т-11826. Формат бумаги 84×105¹/₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,61. Тираж 31 240 экз. Заказ 404. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 864205. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**