

*Посвящается всем ушедшим и ныне живущим
товарищам и друзьям по средней и высшей
школам, а также коллегам-соратникам по
научной деятельности*

ВВЕДЕНИЕ

В естественных условиях состояние атмосферы и ионосферы определяется, в общем случае, солнечной и магнитной активностями (сверху-вниз) и влиянием Земли на эти среды (снизу-вверх: испарением воды с поверхностей океанов, морей, озер и рек; дегазацией из Земли различных газов; землетрясениями, извержениями вулканов и т.д.). Понятно, что поведение этих верхних геосфер существенно влияет на здоровье человека (озоносфера, например, поглощающая жесткое УФ излучение Солнца, ответственна за существование жизни на Земле), а также на функционирование многих технических систем различной сложности и назначения наземного и космического базирования (радиотехнических, оптических, ракетных, авиационных и др.).

Во второй половине 30-х годов прошлого столетия В. Бейли [1] высказал некоторые идеи о возможности искусственного изменения естественных параметров ионосферы, в частности, под воздействием радиоволн мощных КВ-передатчиков. Однако многие годы исследования носили сугубо теоретический характер из-за отсутствия таких передатчиков, и только после Второй мировой войны они приобрели экспериментальную направленность. Кроме того, в 50-е годы XX века стало окончательно ясно, что, во-первых, помимо мощных радиоволн существуют и другие источники искусственного возмущения атмосферы и ионосферы Земли и, во-вторых, возможно создание для этих целей специальных методов и средств.

В настоящее время искусственные (активные) воздействия (АВ) на верхние геосферы, к которым относятся атмосфера, ионосфера и магниосфера, условно

подразделяются на два типа [2]: непреднамеренные, сопровождающие текущую народнохозяйственную, научную, оборонную и другую деятельность человека (государств), и методы и средства, специально создаваемые для возмущения среды. Исследования по первому типу воздействия имеют во многом экологическое значение, но некоторые из них и прикладное, а по второму, кроме того, и сугубо научное приложение.

К непреднамеренным воздействиям относятся: химические и металлургические производства, теплоэлектростанции (ТЭЦ) и АЭС, добыча полезных ископаемых (особенно взрывным способом), полёты авиации в тропосфере и стратосфере, запуски ракет, ядерные испытания, многочисленные источники электромагнитного излучения в широком диапазоне частот, включая ЛЭП; постоянно возрастающее количество космических аппаратов (КА) на околоземных орбитах и связанный с этим, неуправляемый рост, так называемого, «космического мусора» (КМ); вход в атмосферу различных космических объектов и т.д. (см., например, [3–8]).

На наш взгляд, наиболее важное значение имеют полеты авиации, запуски ракет, загрязнение околоземного космического пространства (ОКП), ядерные испытания.

В данный момент к специальным методам и средствам относятся [9–17]:

1. *Существующие* – взрывы на различных высотах химических ВВ; выбросы химических веществ в газообразном состоянии или в виде аэрозолей (в приземных слоях это – углекислота, различные аэрозоли и др. для улучшения или ухудшения погодных условий; в ионосфере – плазмообразующие, плазмогасящие вещества); инъекция электронов; инъекция плазмы; высокопотенциальные радиотехнические средства в КВ-диапазоне – нагревные стенды, искусственные метеоры, ядерные взрывы.

2. *Перспективные* (на наш взгляд) – источники ультрафиолетового излучения; высокопотенциальные радиотехнические средства в СВЧ диапазоне.

Кратко остановимся на истории возникновения проблемы АВ на верхние геосферы и последующего её развития. Этот вопрос практически не поднимался в отечественной и зарубежной печати, и по нему существуют разные мнения. На наш взгляд, всю историю можно разбить на несколько этапов.

I. 1914–1918 гг. Первая мировая война. Выбросы в атмосферу большого количества продуктов взрывов и пожаров. Воздействие на верхние геосферы в те годы было не осознано и не понято.

II. 1939–1945 гг. Вторая мировая война. Выбросы в атмосферу большого количества продуктов взрывов и пожаров. Вопрос о воздействии на верхние геосферы стал предметом исследования.

III. 1944 г. Начало ядерных испытаний. 1945 г. Первое применение ядерного оружия.

IV. 1945–1963 гг. Интенсивное проведение ядерных испытаний во всех геосферах. 1963 г. – запрет на испытания в трех средах. 1998 г. – окончание подземных ядерных испытаний.

V. С середины 50-х годов XX века началось проведение активных экспериментов (АЭ) на различных высотах (h) с помощью специально созданных средств и методов.

VI. С середины 90-х годов XX века практически прекратились эксперименты с помощью ракет и ИСЗ. Эксперименты в ионосфере продолжаются только на нагревных стендах, а также в тропосфере в интересах влияния на погодные условия.

VII. В настоящее время непреднамеренные воздействия на верхние геосферы усиливаются.

Примерно до середины 80-х годов прошлого столетия в СССР активные эксперименты в верхних геосферах проводились несколько бессистемно, без особой связи между собой (исключение – воздействия на погоду). Каждая организация, принимавшая участие в АЭ, преследовала свои цели, которые на фоне общей проблемы выглядели частными. И только после выхода в 1987 г. Постановления Правительства СССР о развертывании экспериментальных и теоретических работ по комплексной Программе «Искатель-К» [12–16], нацеленной на понимание реакций и последствий в любых геофизических средах при самых разнообразных АВ на них, исследования приобрели более или менее системный характер.

Головной организацией по Программе Институт прикладной геофизики им. академика Е. К. Федорова (ИПГ) Государственного Комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР (Госгидромет, ныне – Федеральная служба РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – Росгидромет) к ее выполнению были привлечены примерно 33 НИИ, КБ, ОКБ АН СССР и Украины, Высшей школы, Госгидромета, Министерства радиоэлектронной промышленности (МРП), Министерства обороны (МО) и других ведомств СССР. К сожалению, после распада СССР исследования по Программе «Искатель-К» прекратились в 1993–1994 гг. Тем не менее, за короткое время были проведены ~36 экспериментов по созданию ионизированных образований и ~24 – по инъекции плазмы, многочисленные эксперименты с участием нагревного стенда «Сура» и т.д. В целом, полученные результаты не были обобщены и оформлены в какие-либо конкретные рекомендации, хотя некоторые из них и были опубликованы в [14, 15].

С помощью специальных методов и средств воздействия на верхние геосферы возможно решение большого количества научных и прикладных задач. К первым из них относятся: структура и возмущения геомагнитного и электрического полей; свечение атмосферы; температура и плотность

воздуха на больших высотах; константы скоростей реакций, коэффициенты диффузии; высыпания заряженных частиц (триггерные эффекты); механизмы возникновения неоднородностей различного размера на разных высотах; механизмы возникновения эффектов Red sprits и Blue jets и многие другие.

Таблица В1

Возможные экологические последствия при искусственных возмущениях верхних геосфер

№ п/п	Последствия	Высоты, h , км	Источники	Масштаб	Степень изученности
1	Загрязнение воздуха	$h \leq 3-5$	Химические и металлургические производства, добыча ископаемых, ядерные испытания	Локально-региональный	+
2	Изменение теплового режима атмосферы и погоды	$h \lesssim 9-10$ (тропопауза)	То же, что и выше + ТЭЦ и АЭС, космический мусор	Локальный, региональный, глобальный	\pm
3	Влияние на озоновый слой Земли	$h \approx 15-35$	Полеты самолетов, запуски ракет, космический мусор, ядерные испытания	---//---	\pm
4	Возмущение ионосферы	$h \gtrsim 50$	Источники электромагнитного излучения, вход в атмосферу космических объектов, запуски ракет, ядерные испытания, искусственные метеоры	---//---	\pm
5	Возмущение магнитосферы	$h \geq 1000-1500$	Ядерные испытания на больших высотах, полеты КА	Глобальный	\pm
6	Изменение климата				-

Прикладные задачи: изменение погодных условий; влияние на распространение радиоволн широкого диапазона частот; создание ложных целей в оптическом и радиодиапазонах; моделирование геофизических эффектов при других (запрещенных) активных воздействиях; воздействие на космические объекты.

Непреднамеренные воздействия, как отмечалось, необходимо рассматривать, прежде всего, с экологических позиций. Экологические последствия могут быть по масштабам локальные, региональные, глобальные. Они представлены в таблице В1 [2], в которой знак «+» означает более или менее хорошо изучено, «±» – недостаточно изучено, «-» – изучено плохо.

Исследования искусственно возмущенных атмосферы и ионосферы, с учетом специфических особенностей воздействия на них различных источников, представляются весьма сложными и требуют привлечения специалистов из разных областей знаний.

Действительно [3–23], в зависимости от типа источника возмущения, высоты, времени после воздействия, гелиогеофизических условий, возникающие здесь задачи могут относиться к обычной газовой динамике и магнитной гидродинамике, радиационной газовой динамике и физике разреженных газов, электродинамике и вопросам распространения ионизирующих и других излучений через атмосферу неоднородной плотности и т.д.

Одним из важных направлений во всей проблеме в целом является исследование аэрономии возмущенной среды, чему и посвящена настоящая книга. С точки зрения оценки концентраций и частот соударений электронов, необходимых в первую очередь для последующего рассмотрения вопросов распространения радиоволн, исследование аэрономии представляет собой, в определенном плане, – завершающий этап общих исследований физики искусственных возмущений, по крайней мере до высот 500–600 км, на которых использование термина «аэрономия» имеет очевидный физико-химический смысл.

Некоторые из сугубо аэрономических задач, например, изучение поведения озона в таких условиях, имеют, кроме того, и самостоятельное значение. В целом, книга является *одной из первых попыток* систематизированного исследования в указанном направлении.

В отечественной и зарубежной литературе опубликовано сравнительно большое количество работ, где в той или иной мере затрагиваются вопросы аэрономии искусственных возмущений в атмосфере и ионосфере Земли. Характерными чертами многих из них являются независимость проведения исследований для разных источников возмущения, пренебрежение некоторыми особенностями воздействия на среду того или иного источника, недостаточное понимание необходимости учета в таких исследованиях, с одной стороны, последних достижений в фотохимии естественных атмосферы и ионосферы, с другой – возникающих существенных отличий. Все это, в конечном счете,

привело к весьма неравномерному уровню развития исследований для разных источников воздействия.

Основная цель работы – разработка общих принципов создания аэрономических моделей искусственных возмущений в атмосфере и ионосфере Земли, развитие обобщенного подхода и единой методологии исследования аэрономии искусственно возмущенной среды, а также рассмотрение с помощью данной методологии возможности использования получаемых конкретных результатов, прежде всего, в задачах по распространению радиоволн широкого диапазона частот.

Достижение поставленной цели потребовало обобщения и систематизации исследований в данном направлении, анализа явлений, возникающих в атмосфере и ионосфере при воздействии самых разнообразных источников искусственного возмущения, построения классификации аэрономических задач, выделения и детального анализа основных особенностей исследования, практической реализации развитой методологии при решении различных задач по аэрономии возмущенной среды.

Представленные в книге результаты получены автором в течение более 50 лет целенаправленных исследований в трех организациях – Научно-исследовательском испытательном центре ЦНИИ Воздушно-космических сил (ранее 45-й ЦНИИ МО СССР), Институте динамики геосфер им. академика М. А. Садовского РАН (ранее Спецсектор Института физики Земли им. академика О. Ю. Шмидта АН СССР), Институте прикладной геофизики им. академика Е. К. Федорова Росгидромета.

Главное внимание в работе уделяется таким источникам искусственного возмущения, для которых исследования пока не носят сугубо экологический характер и не проводятся только в рамках решения проблемы охраны окружающей среды.

К подобным источникам сейчас можно отнести ядерный взрыв, выброс в ионосферу химически активных веществ, мощные радиоволны, инжекция заряженных частиц, запуски ракет, взрывы химических ВВ, источники ультрафиолетового излучения, вход в плотные слои атмосферы различных космических объектов, искусственные метеоры.

Надо признать, что такой подход к источникам возмущения является несколько условным, так как любое, периодически осуществляемое активное воздействие на атмосферу и ионосферу, не говоря уже о массовом использовании, например, ядерного оружия и возможных климатических последствий глобального ядерного конфликта [24–27], придает дополнительный новый аспект вопросам охраны окружающей среды, которым в настоящее время уделяется большое внимание. Рассмотрение проблемы сугубо с экологических позиций выходит за рамки данной работы, хотя в ряде случаев приходится о них упоминать.

Среди отмеченных выше источников возмущения особое место занимает ядерный взрыв. Во-первых, это самый мощный (в энергетическом плане) источник возмущения. Во-вторых, его воздействие на среду носит комплексный характер, и практически многие из явлений, возникающих в атмосфере и ионосфере при действии других источников возмущения в той или иной мере, имеют место в условиях осуществления ядерного взрыва.

Такое положение позволяет исследовать некоторые из аэрономических проблем на примере воздействия на атмосферу и ионосферу именно этого источника возмущения.

Кроме того, появляется принципиальная возможность использования других источников возмущения с целью физического моделирования ряда явлений, сопровождающих ядерный взрыв [2, 21]. Данное обстоятельство имеет немаловажное значение, учитывая полный запрет на проведение ядерных испытаний во всех геосферах, а также большую практическую направленность подобных исследований для радиотехнических систем любого назначения [22, 28–32].

Во время работы автору приходилось взаимодействовать, проводить совместные исследования со многими коллегами из других организаций различных ведомств.

К сожалению, многие из них уже ушли в мир иной. Тем не менее, хочу вспомнить и выразить им и живущим до сих пор свою глубокую благодарность за обсуждение многих вопросов, за совместное сотрудничество и доброжелательное отношение к выбранной теме исследований. Это, ушедшие от нас в разные годы, – профессора, доктора физ.-мат. наук Ю. И. Гальперин, Г. С. Иванов-Холодный, Ю. А. Игнатьев, И. В. Немчинов, Н. В. Смиронова, А. С. Стрелков, Б. Д. Христофоров, профессора, доктора технических наук Е. М. Андреев, Ю. П. Высоцкий, Б. И. Семенов, кандидаты физ.-мат. наук В. А. Пуштарик, Ю. А. Романовский, а также активно и плодотворно работающие в настоящее время профессора, доктора физ.-мат. наук А. Д. Данилов, Ю. К. Калинин, П. М. Нагорский, Ю. П. Райзер (научный руководитель исследований на ранней стадии их проведения), А. Ю. Репин, доктора технических наук Е. Л. Ступицкий, В. В. Трекин, кандидаты физ.-мат. наук В. В. Алпатов, Ю. В. Платов.

Особенно хотелось бы отметить академика РАН В. В. Адушкина, профессора, доктора физико-математических наук Ю. И. Зецера, кандидата технических наук А. Н. Ляхова, которые ненавязчиво советовали и «подталкивали» автора к написанию данной книги, создавая для этого благоприятные рабочие условия и периодически участвуя в различных исследованиях.

Подавляющее большинство результатов расчетов и оценок не могло быть получено без квалифицированной работы большого коллектива математиков-программистов из Научно-исследовательского испытательного центра ЦНИИ ВКС МО РФ, ОКБ «Алмаз-Антей», Института прикладной геофизики

им. акад. Е. К. Федорова Росгидромета, Института динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук.

Основная нагрузка при подготовке рукописи к печати легла на сотрудников В. В. Ежакову и В. В. Якима ИДГ РАН, за что автор выражает им свою искреннюю признательность.