

Лекция 13. АТМОСФЕРА, ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ

В 13-ой лекции обсуждается вопрос образования эволюции земной атмосферы (по Акасофу), а так же механизм физико-химического усиления солнечно-земных связей (по докладу Н. Г. Скрыбина на Втором рабочем семинаре по моделированию полярной ионосферы, 11—15 февраля 1980 г., г. Мурманск, Препринт ИКФИА ЯФ СОАН).

Образование атмосферы

Некогда Земля должна была иметь первичную атмосферу, весьма отличную от современной. Ныне эта первичная атмосфера почти полностью потеряна. Существующая атмосфера является вторичной. Современное относительное содержание инертных газов - неона, аргона, криптона, ксенона - меньше чем 10^{-6} их содержания в космосе (или их содержания в атмосфере Солнца и других звезд). С другой стороны, большое число соединений и элементов с примерно одинаковыми молекулярными весами, например H_2O , N_2 , CO_2 и O_2 , имеет на Земле достаточно большое содержание. Если бы эти вещества находились в газообразном состоянии в первичной атмосфере Земли, они также были бы потеряны. Их современное количество в атмосфере и океанах может быть объяснено в предположении того, что некоторые из этих соединений постепенно аккумулировались в атмосфере за счет выделения из твердой Земли при вулканических и других процессах. Наиболее обильная компонента атмосферы, азот, рассматривается как продукт выделения из земных пород в результате взаимодействия элементов литосферы, гидросферы и биосферы, в соответствии с нынешними представлениям об азотном цикле. Большая часть углекислого газа CO_2 после выделения постепенно была химически связана в виде карбонатов и органического углерода в осадочных породах путем взаимодействия с H_2O ; этот процесс переводит CO_2 в HCO_3 , а затем в $CaCO_3$ и другие соединения.

Уже давно было отмечено, что большая часть свободного кислорода в атмосфере не является продуктом обезгаживания горных пород; кислород должен был бы выделяться из них в виде H_2O , CO_2 , SO_2 и т. д., но не в свободном состоянии. Отсюда можно было предполагать, что свободный кислород в атмосфере является продуктом фотодиссоциации водяного пара:

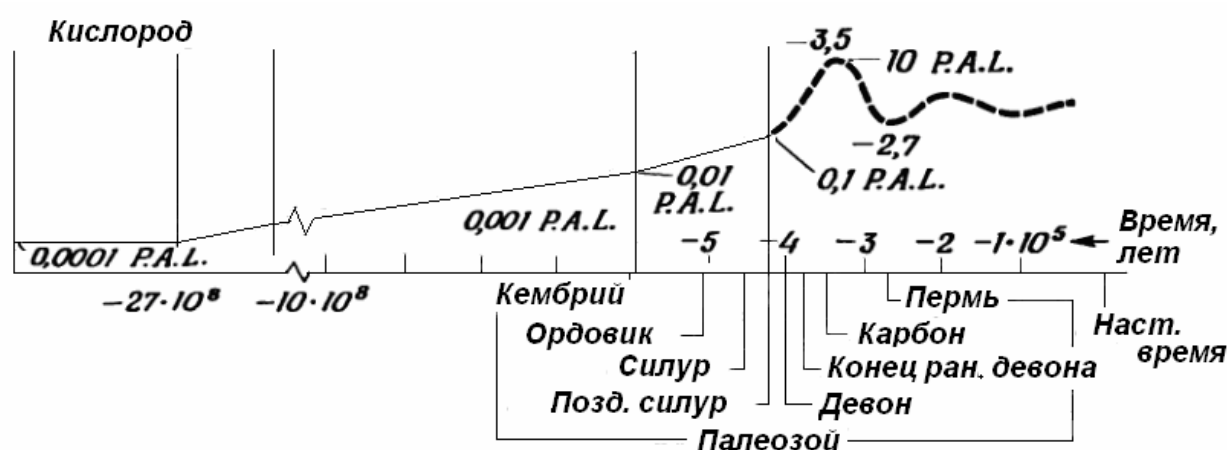
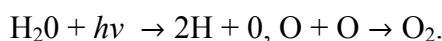


Рис. 1. Предполагаемая модель роста количества кислорода в атмосфере Земли (P.A.L.— современная концентрация кислорода).

Однако Юри заметил, что этот процесс является саморегулируемым, поскольку образовавшийся в ходе его O_2 поглощает часть солнечного излучения, необходимую для указанной диссоциации. Кроме того, часть O_2 быстро расходуется в ходе различных

окислительных реакций. Поэтому можно полагать, что первичная атмосфера содержала самое большее 0,1% нынешнего количества кислорода и что последующее возрастание содержания кислорода в обозримое геологическое время обусловлено процессами фотосинтеза. Беркнер и Маршалл заключили, что эволюция жизни на Земле не может рассматриваться без учета роста содержания кислорода в атмосфере.

Ни одна форма жизни на суше невозможна, пока в атмосфере не накопилось достаточно кислорода, создающего экран для защиты от губительного для жизни солнечного излучения. Они также предположительно заключили, что наивысшая скорость фотосинтеза имела место в каменноугольный период, благодаря чему была израсходована значительная часть CO_2 , существовавшего ранее в земной атмосфере. Эти изменения привели к охлаждению атмосферы Земли и ослаблению фотосинтеза. Рисунок показывает, как в соответствии с изложенными представлениями менялось содержание кислорода в атмосфере на протяжении геологического времени; за единицу принято современное содержание кислорода в атмосфере.

Усилительный механизм

Влияние галактических и солнечных космических лучей, а также выпадений частиц магнитосферного происхождения на погодообразующие процессы в земной атмосфере широко обсуждаются в последние годы в сотнях статей и докладов. Сейчас это признанное направление исследований. Однако когда эти идеи воздействия корпускулярных излучений на физико-химические процессы в атмосфере Земли были впервые высказаны Н.Г. Скрябиным в семидесятых годах прошлого века, они не встретили серьезного отношения, были проигнорированы, сочтены необоснованной фантазией.

Введение.

За последние годы резко возрос интерес к проблемам солнечно-атмосферных связей. Это обусловлено как развитием ракетной и космической техники, позволяющей проводить исследования в среде стратосферного и мезосферного резервуара атмосферы Земли, так и накоплением экспериментальных фактов влияния корпускулярной активности Солнца на погоду.

Выяснилось, что определенные типы перестройки барических полей, циклоническая и грозовая активности, изменение содержания озона и многих других атмосферных параметров связаны с активностью Солнца, причем последняя оказывает влияние почти на все параметры верхней, средней и нижней атмосферы.

В цепи солнечно-атмосферных связей должны быть звенья, через которые передается влияние активности Солнца, в частности на формирование физических условий в стратосфере. К сожалению, нам эти звенья либо не известны, либо изучены еще слабо. Например, неизвестно приведет ли уменьшение (увеличение) аэрозольной компоненты в стратосфере и мезосфере к общему похолоданию (потеплению) планеты.

В верхней атмосфере выпадающие из магнитосферы потоки заряженных частиц стимулируют радиолитические реакции, в которых генерируются аэрозоли таких веществ, как нитрит и нитрат аммония, кластеры гидроксония и др. Кластеры гидроксония могут включать каталитические реакции, перерабатывающие малые составляющие вещества воздуха в микроскопические частички - аэрозоли и кластеры. Образующиеся в этих процессах частицы очень гигроскопичны, они могут эффективно стимулировать процессы освобождения скрытой энергии атмосферы на больших площадях планеты и этим самым, возможно, влиять на изменение погоды.

Поэтому поиск и изучение управляющих и усилительных механизмов освобождения скрытой энергии в связи с корпускулярной активностью Солнца могут иметь большое практическое значение.

Связь корпускулярной активности Солнца с изменением некоторых атмосферных параметров

В настоящее время экспериментально установлено существование корпускулярно-атмосферных связей и влияние их на изменение метеорологических параметров. Так на большом экспериментальном материале был обнаружен эффект запаздывания ≈ 3 дня изменений барических полей относительно геомагнитной активности, обусловленной корпускулярной активностью Солнца. Многим исследователям известен и такой эффект, как эффект помутнения верхней атмосферы после интенсивных полярных сияний. Так, в работе отмечается, что помутнение верхней атмосферы обусловлено генерацией высыпающимися частицами сложных химических веществ, например нитрита аммония NH_4NO_2 .

В работе указывается, что существует много реакций и процессов, в которых генерируются аэрозоли в верхней атмосфере. Многие из этих реакций заканчиваются генерацией водяных кластеров (комплексов водяных молекул, присоединенных к иону или заряженной частице), ведущих себя как заряженные аэрозоли. Такие частицы после проникновения в тропосферу могут образовывать ядра конденсации водяного пара, более эффективные, чем обычная континентальная пыль и аэрозоли частичек дыма. Как указывалось в работе, они являются ядрами конденсации для образования перистых облаков, которые неизменно следовали с опозданием на 2 дня за сильными полярными сияниями.

Все это говорит о возможном влиянии корпускулярной активности Солнца на погоду через генерацию аэрозолей гигроскопичных веществ. Было установлено, что после выраженной геомагнитной активности происходит весьма характерная перестройка барических полей зимой (рис. 1), причем характер перестройки имеет определенную долготную зависимость.

Через 3 дня после геомагнитных возмущений, в районе долгот региона северо-востока Сибири (Норильск - Чукотка $\approx 90^\circ$), - происходит понижение давления на ≈ 2 мбар. А в районе долгот, проходящих через регион Европа - Западная Сибирь ($\approx 90^\circ$), - повышение давления на ≈ 2 мбар (рис.1), Такое же перераспределение барических полей, по-видимому, происходит и в западном полушарии.

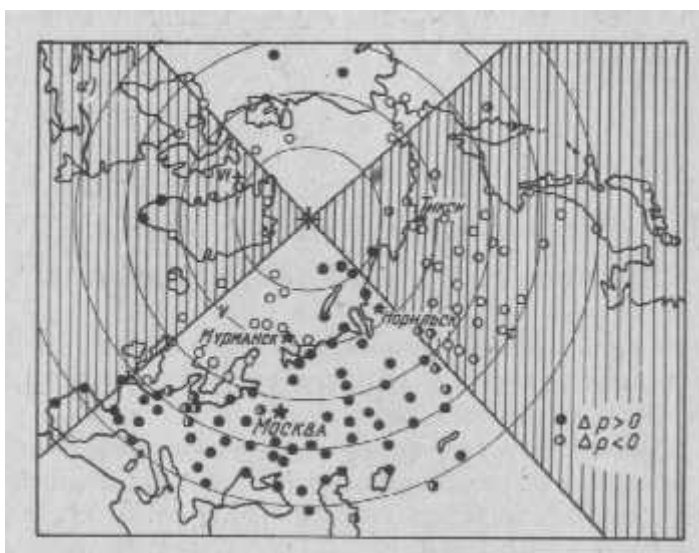


Рис. 1. Карта распределения изменений приземного давления в связи с корпускулярной активностью Солнца.

Чем обусловлено это распределение изменений давления в связи с геомагнитной активностью?

Мы считаем, что при высыпании заряженных частиц, характеристики которых имеют выраженную долготную зависимость, в авроральных широтах на высотах > 85 км в результате радиолизных реакций образуются очень гигроскопичные вещества - аэрозоли кластеров гидроксония, нитрита и нитрата аммония. Сильные ветры в верхней атмосфере (более 100 км/ч), имеющие большие флюктуации примерно за сутки, разносят эти вещества на большой площади с линейными размерами $\approx 2-3$ тыс.км.

В более нижних слоях, на высотах 85-20 км, флюктуации ветров с учетом сил Кориолиса одновременно усиливают перенос этих веществ в нижние слои в процессе вертикальной турбулентной диффузии крупными неоднородностями (вихрями). В результате этих процессов в нижнюю стратосферу (и в верхнюю тропосферу) через $\approx 2-3$ дня попадут гигроскопичные аэрозоли, которые могут участвовать в освобождении скрытой энергии атмосферы. Все это и приводит к перераспределению барических полей (рис.1).

Далее, учитывая западные зональные ветры в нижней стратосфере (50 км/ч), мы должны повернуть в западном направлении заштрихованные зоны на ≈ 3 тыс.км. Это необходимо сделать для того, чтобы восстановить начальные условия воздействия корпускулярных потоков на верхнюю атмосферу. В данном случае, середина заштрихованной зоны попадет в регион долгот, одновременно проходящих через районы географического и геомагнитного полюсов Земли (на рис.1 отмечены крестиками). Известно, что геомагнитный полюс отклонен от географического на $11,5^\circ$ в западное полушарие, что приводит к различию энергетических характеристик высыпающих частиц на различных долготах.

Геофизические особенности Тиксинско-Норильского аврорального региона

Геофизические особенности аврорального и субаврорального региона на долготах около меридиана, проходящего через географический и геомагнитный полюса, - известны. Как дополнение к ним, мы приводим еще одну особенность, которая должна объяснить крупномасштабные долготные эффекты в некоторых характеристиках высыпаний заряженных частиц.

Рассмотрим геометрию магнитосферы в 12 и 24 ч местного времени по меридиану, проходящему через географический и геомагнитный полюса, для северного полушария (долготы Тикси и Норильск).

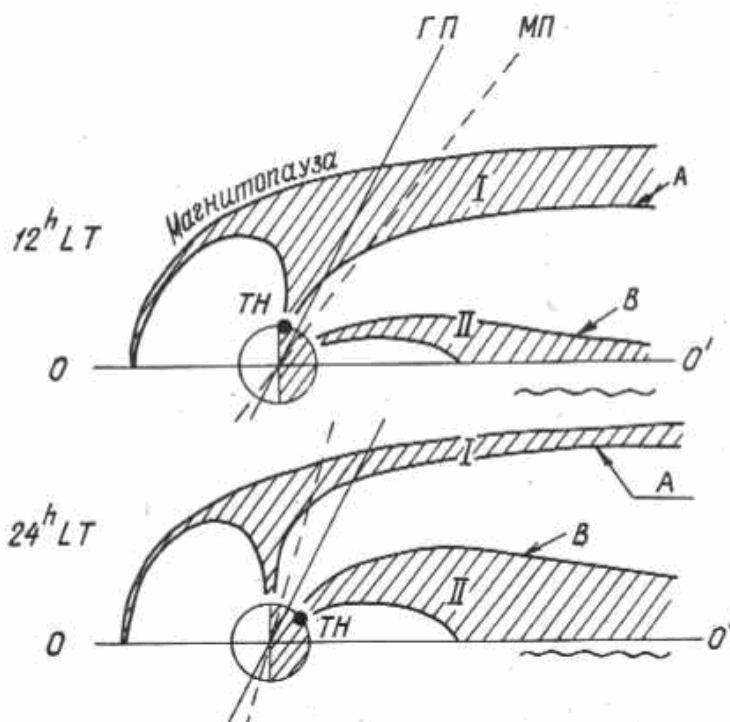


Рис.2. Меридиональный разрез магнитосферы через геомагнитный и географический полюса в 12 ч LT и 24 ч LT: ГП - географический полюс, МП - геомагнитный полюс.

На рис. 2 заштрихованы области, из которых частицы могут вторгаться в верхнюю атмосферу. (Мантия и плазменный слой - I и область II - около нейтрального слоя).

В 12 ч LT (меридианы региона Тикси - Норильск (ТН)) ось магнитного диполя будет наклонена очень сильно в сторону хвоста (пунктир). Это приведет к тому, что магнитные силовые линии А и В приблизятся к линии Солнце-Земля 00'. При этом область I над регионом ТН увеличивается. В 24 ч (те же меридианы, ночь) ось магнитного диполя отклонится от оси 00'. Магнитные силовые линии будут значительно отдалены от 00'. Как видно из рис.2, теперь увеличится область II над регионом ТН.

Таким образом, зимой авроральный регион ТН всегда (и днем и ночью) находится под зонами высыпаний, которым в магнитосфере соответствуют значительно большие объемы, чем над авроральными регионами других долгот (например, европейские и американские).

Для примера рассмотрим разрез магнитосферы по западноевропейским меридианам (ЗЕ). По этим меридианам ось магнитного диполя занимает одно и то же положение относительно оси 00 (рис.3). Поэтому области I и II не меняются. И, как видно на рисунке, их объем значительно меньше, чем над регионом ТН. По-видимому, эта геофизическая особенность и обуславливает долготное перераспределение барических полей в связи с солнечной активностью.

Обращает на себя внимание еще очень важный, на наш взгляд, граничный эффект. Из рис.1 видно, что существует резкая и очень протяженная граница перепадов давления вдоль геомагнитного меридиана, проходящего через Норильск. Эта граница, по-видимому, существует и в западном полушарии, в районах, богатых скрытой энергией. Только неоднородность подстилающей поверхности скрывает четкие границы эффекта (большие водные пространства с различной температурой). На таких границах могут возникнуть перемещения воздушных масс поперек фронта. Зональные ветры, перемещая эти границы, могут образовать петли, которые впоследствии под действием сил Кориолиса, в свою очередь, могут образовывать в стратосфере огромные вихри (циклоны и антициклоны). По-видимому, такие границы являются генераторами глобальной перестройки атмосферных процессов.

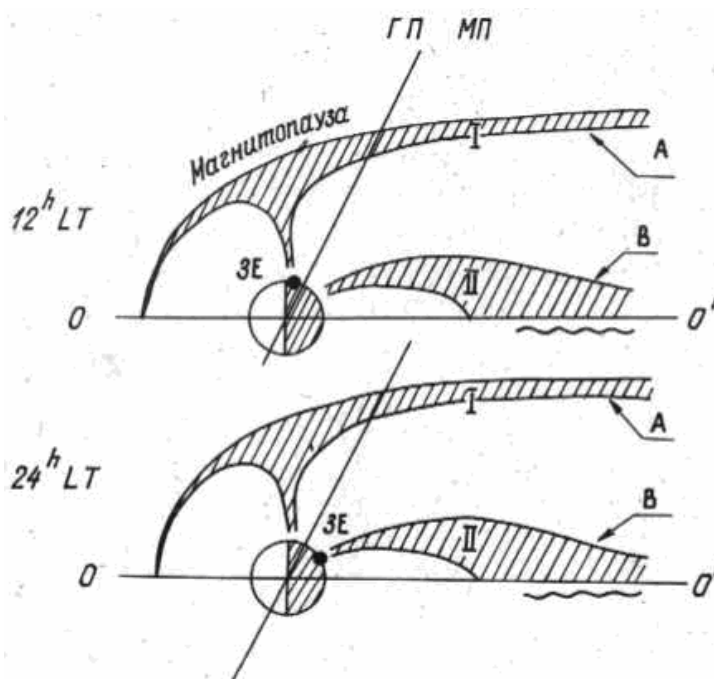


Рис. 3. Разрез магнитосферы по западно-европейским меридианам в 12 ч LT и 24 ч LT.

Причем перестройка должна начинаться в стратосфере по норильскому меридиану как в западном, так и в восточном полушариях, но в нижних слоях она станет заметной только через несколько суток и будет смещена в восточном направлении на $\gg 45^\circ$ (действие зональных ветров).

Генерация тяжелых ионных кластеров при высыпаниях заряженных частиц.

Для изменения погоды необходимо не только перемещение воздушных масс, но и стимулирование развития различных физико-химических процессов, способствующих освобождению скрытой энергии атмосферы. Активные эксперименты в тропосфере показывают, что атмосфера всегда испытывает некоторый недостаток в веществах, способствующих процессам конденсации и сублимации пара.

Такие вещества могут образоваться в процессе радиолиза воздуха при высыпании заряженных частиц. И действительно, в интервале высот 85-65 км экспериментально наблюдается большое содержание очень гигроскопичных веществ, таких как кластеры гидроксония $\text{H}_3\text{O}^+ (\text{H}_2\text{O})_n$.

Концентрация кластеров гидроксония на этих высотах $\approx 10^3$. В то же время оценки по химическим реакциям, в которых может генерироваться это вещество, дают в 10- 1000 раз меньшее количество.

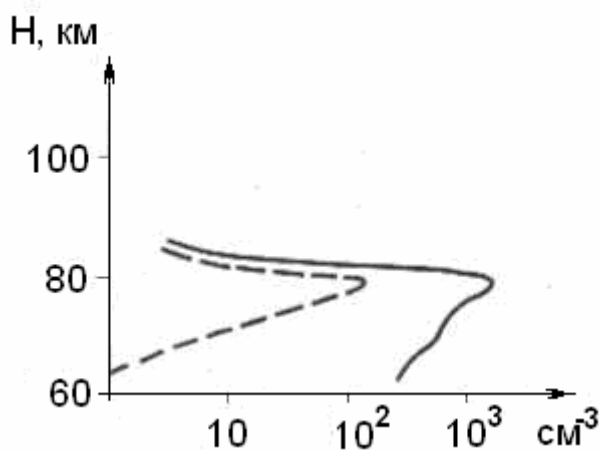


Рис.4. Высотный разрез изменений концентрации кластеров гидроксония:

— - расчетные значения;
 --- - наблюдаемая концентрация.

Такое большое различие может быть объяснено тем, что при расчетах учитывались только химические реакции. Но в природе могут существовать и другие механизмы генерации таких веществ. Ниже мы предлагаем возможный механизм генерации кластеров и аэрозолей, управляемый корпускулярной активностью Солнца.

Под действием потоков высыпающихся частиц в верхней атмосфере на высотах > 85 км образуются ионы O_2^+ и N_2^+ . В работах приводятся эти реакции. Ионизация нейтральных составляющих происходит в реакциях:

$\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}_2^+ + 2e$	1	$\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}_2^{+X} + 2e$	2
$\text{O}_2 + e \rightarrow \text{O}^+ + \text{O} + 2e$	3	$\text{O} + e \rightarrow \text{O}^{+X} + 2e$	4
$\text{O} + e \rightarrow \text{O}^{+X} + 2e$	5	$\text{N}_2 + e \rightarrow \text{N}_2^+ + 2e$	6
$\text{N}_2 + e \rightarrow \text{N}^+ + \text{N} + 2e$	7	$\text{N}_2 + e \rightarrow 2\text{N} + e$	8

В этих реакциях образуются ионы O_2^+ , O_2^{+X} , O^+ , O^{+X} , N_2^+ , N^+ и атомарный азот.

Частички NO^+ генерируются в ионно-молекулярных реакциях.

$O_2^+ + NO \rightarrow NO^+ + O_2$	9	$O_2^+ + e \rightarrow 2O$	10
$O_2^+ + e \rightarrow O^+ + O + 2e$	11	$O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$	12
$O^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + O$	13	$N_2^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + N_2$	14
$N_2^+ + O \rightarrow NO^+ + N$	15	$N^+ + O_2 \rightarrow NO^+ + O$	16
$N^+ + O_2 \rightarrow O_2^+ + N$	17	$NO^+ + e \rightarrow O + N$	18
$O_2^{+X} + N_2 \rightarrow N_2^+ + O_2$	19	$O_2^{+X} + O \rightarrow O_2 + O$	20
$O^{+X} + N_2 \rightarrow N_2^+ + O$	21	$N + O_2 \rightarrow NO + O$	22

Как видно, баланс ионов O_2 и NO^+ определяется всей совокупностью реакций (1-22). Частицы O_2 и NO^+ в свою очередь запускают следующие реакции с образованием тяжелых ионов:

$O_2^+ + H_2O + M \rightarrow O_2^+(H_2O) + M$	23	$O_2^+ + O_2 + O_2 \rightarrow O_2 \cdot O_2^+ + O_2$	24
$O_2 \cdot O_2^+ + O \rightarrow O_2^+ + O_3$	25	$O_2 \cdot O_2^+ + H_2O \rightarrow O_2^+(H_2O) + O_2$	26
$O_2^+(H_2O) + H_2O \rightarrow H_3O^+(OH) + O_2$	27	$O_2^+(H_2O) + H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH + O_2$	28
$H_3O^+(OH) + H_2O \rightarrow H_3O^+(H_2O) + OH$	29	$NO^+ + H_2O + M \leftrightarrow NO^+(H_2O)_2 + M$	30
$NO^+(H_2O)_2 + H_2O + M \leftrightarrow NO^+(H_2O)_3 + M$	31	$NO^+(H_2O)_2 + H_2O + M \leftrightarrow NO^+(H_2O)_3 + M$	32
$NO^+(H_2O)_3 + H_2O \rightarrow H_3(H_2O)_2 + HNO_3$	33		

В реакциях (23 – 33) наиболее долгоживущими тяжелыми ионами являются кластеры гидроксония $H_3O^+(H_2O)$ и $H_3O^+(H_2O)_2$ – см реакции 29 и 32.

Большое время жизни ионов гидроксония позволяет им участвовать в крупномасштабных процессах перемешивания воздушных масс в верхней атмосфере. Остальные тяжелые ионы из-за малого времени жизни не могут, по-видимому, участвовать в процессах переноса.

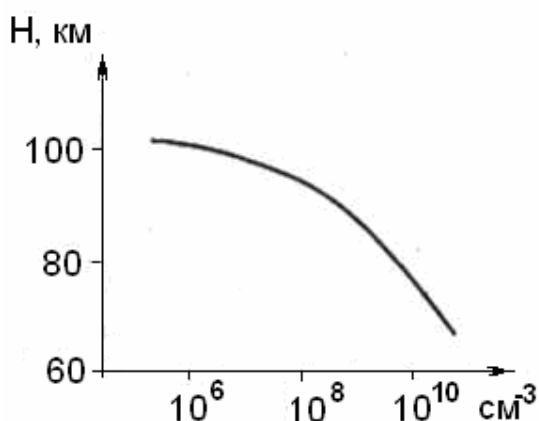


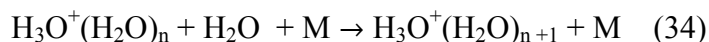
Рис. 5. Высотный разрез содержания молекул воды.

Для запуска реакций (23 - 33) необходимо, чтобы корпускулярные высыпания достигали более низких высот (ниже 100 км), так как только на них имеется заметное количество молекул воды, достаточное для включения этих реакций (рис.5).

Не всякие полярные сияния могут запустить такие реакции, а только те, которые достигают более низких высот.

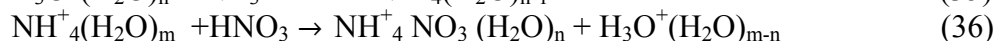
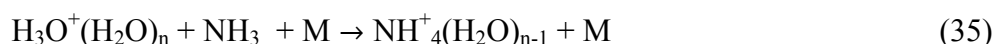
Усилительный механизм генерации микроскопических аэрозолей и кластеров в стратосфере

Кластер гидроксония очень гигроскопичен, он имеет низкий энергетический порог для присоединения в реакции полимеризации молекул воды. Поэтому после попадания в интервал высот 85-20 км, где молекул воды больше в 10 раз, чем на высотах > 85 км, кластеры гидроксония будут укрупняться по реакции:

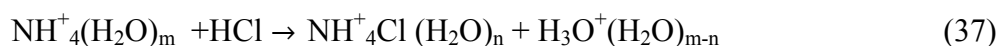


Тяжелый кластер гидроксония $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ обладает каталитическими свойствами для запуска быстропереклюющихся реакций, для которых необходимы частички NH_3 и HNO_5 , в заметном количестве имеющиеся в интервалах высот 85-20 км.

Быстропереклюющиеся реакции будут эффективно перерабатывать некоторые малые составляющие вещества воздуха в очень гигроскопичные вещества - аэрозоли нитрата аммония и кластеры гидроксония:



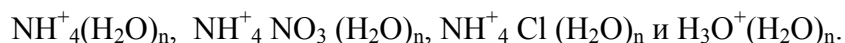
В стратосфере имеется заметное количество некоторых соединений Cl, таких как NaCl, HCl (продукты испарения морской пыли). С учетом этого реакция (36) может проходить и с участием HCl:



В реакциях образуются частички: $\text{NH}_4^+(\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NH}_4^+ \text{NO}_3 (\text{H}_2\text{O})_n$, $\text{NH}_4^+ \text{Cl} (\text{H}_2\text{O})_n$ и новые порции кластеров гидроксония $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$.

Кластеры гидроксония после восстановления своей прежней величины в реакции (34) запускают снова реакции (35)-(37).

Получается как бы цепная реакция, которая быстро увеличивает концентрацию ядер конденсации водяного пара, а именно частичек



Как видно из реакций (35-37), имеет место усилительный эффект увеличения концентрации кластеров нитрата аммония и гидроксония. Коэффициент усиления равен числу повторений реакций (35-37), которое определяется количеством молекул NH_3 , HNO_3 , и HCl.

Число молекул NH_3 , HNO_3 и HCl в стратосфере составляет 10^{-8} - 10^{-7} долю от числа всех молекул воздуха. Следует заметить, что при такой малой доле их количество огромно - $2,5 \cdot 10^8$ молекул/см³, потому что на высотах 85-20 км количество молекул воздуха в среднем равно $2,5 \cdot 10^{16}$ молекул/см³.

Следовательно, если нет быстрых стоков частиц $\text{NH}_4^+(\text{H}_2\text{O})_n$ и $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, то коэффициент усиления эффекта увеличения концентрации ядер конденсации от $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ ожидается очень большим (250 млн. раз).

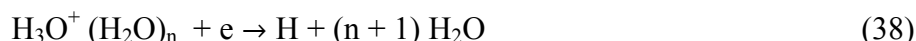
А какая концентрация ядер конденсации водяного пара должна заметно повлиять на освобождение скрытой энергии? Это оценим из следующих соображений.

Концентрация частичек тумана в верхней кромке облаков порядка 10 частичек/см³. Если предположить, что каждая частичка тумана образовалась на одной частичке конденсирующегося вещества, то необходимое количество ядер конденсации будет равно 10 частичкам/см³.

Эти цифры весьма впечатляющи. Необходимо всего 10 частичек/ см^3 , а космические факторы потенциально могут продуцировать 250 млн. на один кубический сантиметр.

Механизмы увеличения времени жизни микроскопических аэрозолей и кластеров в стратосфере.

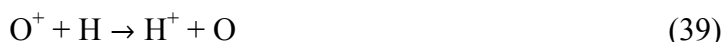
Весь усилительный эффект обусловлен частичками $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$. Ионы кластеров гидроксония рекомбинируют в реакции:



Как видно из реакции (38), время жизни частичек $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ определяется, в основном концентрацией свободных электронов. Реакция (38) уменьшает время жизни частичек $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ на высотах > 85 км до порядка 10 мин.

Но этого времени вполне достаточно для того, чтобы заметная доля частичек $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$, участвуя в процессе турбулентной диффузии крупными вихрями, проникла с высот > 85 км в интервал $85-20$ км, где концентрация электронов на несколько порядков меньше, а, следовательно, на несколько порядков будет увеличено и время жизни $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$.

На высотах > 85 км имеется заметное количество ионов атомарного кислорода O^+ , который ионизирует:



атомы водорода, в том числе и освобожденные по реакции (38). Ионы атома водорода, присоединяя молекулы воды, снова образуют кластеры гидроксония. Все это приводит к значительному увеличению времени жизни кластеров гидроксония. Участие частичек $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ в реакциях (35-37) также приводит к увеличению жизни этих частичек. Реакции (35-37) могут инициироваться и частичками $\text{NH}_4^+(\text{H}_2\text{O})_n$. При этом образуются кластеры гидроксония и новые порции частичек $\text{NH}_4^+(\text{H}_2\text{O})_n$, которые будут снова запускать эти реакции с образованием частичек $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ и т.д.

В нижней стратосфере ионные кластеры можно рассматривать как микроскопические заряженные аэрозоли воды. Заряженные аэрозоли воды имеют большее время жизни, чем незаряженные. Если такие частички способны стимулировать на своей поверхности какие-либо реакции, то каждая частичка может участвовать в реакции много раз. Это означает, что даже при малой концентрации таких аэрозолей, эффект от их присутствия может оказаться большим.

И действительно, на поверхности аэрозолей воды в воздухе могут проходить следующие реакции:



В этих реакциях образуются ионы водорода и свободные радикалы OH , которые могут находиться как на поверхности, так и в воздухе вблизи аэрозолей. Ион H^+ может образовывать кластер гидроксония. Далее, в стратосфере есть заметные концентрации веществ HO_2 и H_2O_2 . Эти вещества, вступая в цепные реакции:



образуют ионы гидроксония, которые, присоединяя молекулы воды, превращаются в тяжелые кластеры гидроксония.

Кластеры гидроксония образуют микроскопические аэрозоли воды, и процесс повторяется, т.е. микроскопические аэрозоли воды генерируют такие же аэрозоли, причем в этом же процессе генерируются и новые порции кластеров гидроксония, усиливающие этот процесс.

Все это также приводит к увеличению жизни частичек $\text{H}_3\text{O}^+ (\text{H}_2\text{O})_n$. Таким образом, весь процесс (1-44), запускаемый корпускулярной активностью Солнца, заканчивается в нижней стратосфере генерацией микроскопических аэрозолей воды, которые могут быть ядрами конденсации водяного пара. На поверхности аэрозолей воды могут генерироваться молекулы озона.



Реакция (45) - суммарная. Цепи её развиваются достаточно сложно, с выделением тепла 35 ккал/моль. Теплота выделяется и в других реакциях.

Следовательно, можно ожидать, что протеканию реакций (1-45) должны сопутствовать *эффект увеличения содержания озона и стратосферные потепления* через (2-3) дня после сильных высыпаний заряженных частиц. Наблюдения в стратосфере подтверждают существование этого эффекта, но по измерениям, например, над Якутском с 21 марта по 5 апреля 1974 г., были замечены изменения содержания озона в связи с появлением тормозного рентгеновского излучения (ТРИ) от высыпающихся высокоэнергичных электронов.

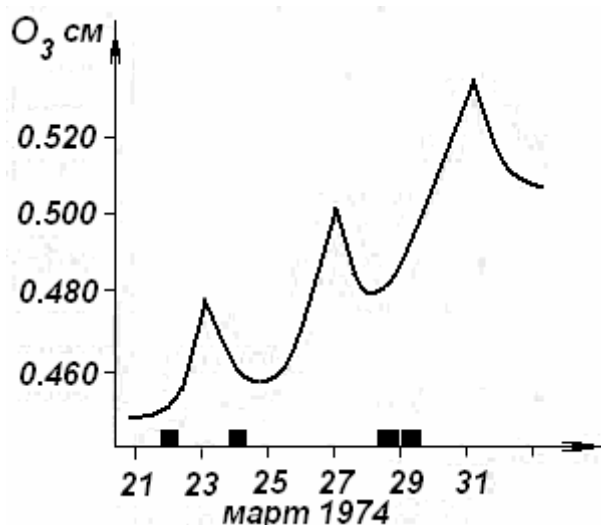


Рис.6. Среднесуточные значения содержания озона. Внизу отмечены моменты регистрации высыпаний высокоэнергичных электронов (по ТРИ).

Из рис.6 видно, что через 2-3 дня после высыпания энергичных электронов увеличивается содержание озона в атмосфере.

Наиболее сильно эффект проявился от высыпания электронов 22 марта 1974 г. (через 1 сутки) и слабее от высыпания 28- 29 марта (через 3 суток). Под силой эффекта здесь понимается скорость наступления изменений содержания озона. Так 24, 29 марта скорость изменения содержания озона была в 2-3 раза меньше, чем 22 марта.

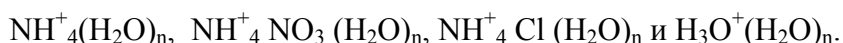
Высыпания электронов, связанные с характерными изменениями содержания озона, наблюдались одновременно в Тикси, Жиганске, Якутске. Из данных рис.6 можно оценить скорость распространения процесса, обусловленного реакциями (1-45).

Взаимодействие с веществом воздуха высыпавшихся высоко- энергичных электронов заканчивается, в основном, на высотах >85 км. Основная масса озона содержится на высотах II- 35 км. Это соответствует средней высоте 23 км. Значит, из соотношений времени между моментами высыпания электронов и максимумом повышения содержания озона следует, что средняя скорость распространения процесса, обусловленного реакциями (1-45) по вертикали 22 марта равна 1,7 км/ч, 24 марта - 0,9 км/ч и 29-30 марта - 0,7 км/ч.

Из рис.6 можно оценить продолжительность времени жизни кластеров гидроксония, обусловленную всей совокупностью реакций (1- 45). Она будет равна продолжительности характерных изменений содержания озона - 1-3 суток.

Перенос микроскопических аэрозолей и кластеров в нижнюю атмосферу.

Как уже отмечалось, частички



могут служить эффективными ядрами конденсации водяного пара атмосферы.

Каким образом они проникают с высоты 85 км в нижние слои атмосферы, хотя бы до высот 20 км? И причем весьма за короткое время.

Экспериментально обнаружено, что эффект запаздывания изменения метеорологических параметров от высыпаний составляет (3 ± 1) дня. Учитывая это время и интервал высот 85-20 км, и предполагая применимость процесса турбулентной диффузии, мы можем оценить коэффициент диффузии. Он оказался равным $k = 14,5$ км/ч. Такое значение необходимо для почти полного перемешивания вещества воздуха в слое 85-20 км за 3 дня. Но с учетом усилительного эффекта (усиление 250 млн. раз) этот коэффициент может быть во много раз меньше. Физические характеристики воздушного резервуара высот 85-20 км могут вполне обеспечивать и такой коэффициент диффузии (по порядку величины). Почему?

В слое 85-20 км дуют сильные ветры, средняя скорость которых ≈ 60 км/ч. Причем из-за турбулентности эта скорость претерпевает сильные флуктуации. Энергия турбулентного движения на высотах 85-20 км, по оценкам наблюдений за метеорными следами, составляет 25% от кинетической энергии среднего потока.

Откуда можно оценить среднюю амплитуду флуктуации скорости dU . Она будет равна

$$dU = + 0,5U \quad (46)$$

Эти флуктуации обусловлены вихревыми неоднородностями, среднее время жизни которых 1ч. Из-за флуктуации горизонтальной скорости возникают вертикальные ускорения под действием сил Кориолиса. Ускорение Кориолиса равно:

$$a_k = 2 [\pm \Delta U X \omega] . \quad (47)$$

Его составляющая по вертикали:

$$a_{\text{верт}} = 2 [\pm \Delta U X \omega] \cos \lambda , \quad (48)$$

где ω – угловая скорость вращения Земли, а λ – широта.

Коэффициент диффузии равен:

$$D = (\Delta H)^2 / 2\tau, \quad (49)$$

где ΔH , τ – средний пробег и среднее время жизни крупных вихревых неоднородностей по вертикали:

$$\Delta H = (a_{\text{верт}} \cdot \tau^2) / 2. \quad (50)$$

Откуда, подставляя в (49), (50) числовые значения, получим $D = 7,5 \text{ км}^2/\text{ч}$, т.е. указанный выше коэффициент диффузии может быть по порядку величины обусловлен даже только силами Кориолиса. Но в природе существуют и другие механизмы мощных процессов перемешивания воздушных масс.

Таким образом, в нижней атмосфере под действием выпадений электронов вполне может увеличиваться содержание ядер конденсации водяного пара, доставленных с высот 85 км до 20 км за 1-3 дня.

Некоторые физические свойства аэрозолей в атмосфере.

Аэрозоли воды играют важную роль в механизмах освобождения скрытой энергии атмосферы. В данной работе рассматриваются физические процессы, которые влияют на способность микроскопических аэрозолей и ионов к конденсации, коагуляции и росту микроскопических аэрозолей воды. Поэтому мы кратко остановимся на описании некоторых физических свойств аэрозолей воды.

Молекулы вещества, находящегося в газообразной среде, под действием молекулярных сил притягиваются друг к другу и группируются до тех пор, пока не образуют частицу в определенном агрегатном состоянии. Здесь вступают в силу законы, характеризующие границу раздела двух сред. Из физической химии известно, что на поверхности раздела аэрозоля воды в газообразной среде давление паров воды и адсорбированного газа во много раз больше, чем в окружающей среде. Поэтому дальнейший рост аэрозоля будет замедлен и в принципе может осуществиться обратный процесс, т.е. микроскопическая аэрозоль чистой воды может "высохнуть" даже во влажном воздухе и, следовательно, не будет служить центром конденсации пара и эффективно участвовать в процессе коагуляции.

Этот эффект описывается известной формулой Дж. Томсона, которая приводится во многих работах по метеорологии. Для незаряженной капельки формула имеет вид:

$$P_a/P_n = \exp(2\delta/\rho R_n Tr), \quad (51)$$

для заряженной:

$$P_a/P_n = \exp(2\delta/\rho R_n Tr - z^2/8\pi^2 R_n Tr^4), \quad (52)$$

где P_a и P_n , - давление паров на поверхности капельки радиуса r и на плоской поверхности жидкости в газообразной среде; z - заряд капельки; ρ, δ - плотность и коэффициент поверхностного натяжения жидкости; R_n - газовая постоянная паров воды.

В таблице приведены результаты расчетов по формулам (51), (52) для аэрозолей воды различных размеров.

	P_a/P_n – для незаря-	P_a/P_n – для заря-	незаряженная/
r , см	женной капельки:	женной капельки:	./заряженная
$3 \cdot 10^{-8}$	54.6	0.00520	10500
$4 \cdot 10^{-8}$	20.0	1.072	18.6
$5 \cdot 10^{-8}$	11.0	3.3	3.3
$7 \cdot 10^{-8}$	5.6	4.1	1.4
$1 \cdot 10^{-7}$	3.3	3.1	1.1
$2 \cdot 10^{-7}$	1.8	1.8	1.0
$5 \cdot 10^{-7}$	1.3	1.3	1.0

Как видно из таблицы, способность к коагуляции значительно выше из-за уменьшения давления паров оболочки (до 10 тыс. раз) у заряженной капельки, чем у незаряженной.

Существует еще несколько факторов, препятствующих слиянию мелких незаряженных капелек, описанных в общей механике аэрозолей, разработанной Фуксом. В качестве иллюстраций может служить регистрация заряженных частиц с помощью камеры Вильсона. Попадая в камеру Вильсона, заряженная частица обозначает свой путь, образуя ионы в газовой среде, пересыщенной парами жидкости. На ионах конденсируются мелкие капельки которые "проявляют" траекторию частицы. Известно, что ионы простых газов (кислород, азот, аргон), обычно применяемых в качестве рабочих, имеют свойство быстро рекомбинировать. Поэтому мелкие капельки жидкости, обозначающие траекторию частицы, очень быстро становятся нейтральными. Для нейтральных капелек $P_a/P_n \gg 1$, и они по причинам, описанным выше, должны высохнуть (испариться). Так в действительности и происходит: траектории исчезают достаточно быстро даже в присутствии насыщенных паров. Отсюда ясно, что незаряженные микроскопические аэрозоли чистой воды не могут служить ядрами конденсации и эффективно стимулировать такой процесс, как коагуляция. Не могут служить эффективными ядрами конденсации, и такие аэрозоли, как континентальная пыль (пыль пустынь) и частички дыма.

Только в воздухе, существенно пересыщенном парами воды, на таких частицах могут образоваться капельки. Но в верхней тропосфере благоприятные условия пересыщения весьма редки и имеют локальное значение.

Для заряженных же частиц, возникающих на ионах и появляющихся в процессе ионизации аэрозоля под действием излучений или в реакциях переключения ионных кластеров, действует формула (52). Расчеты по этой формуле при $Z = 1$ показывают, что способность к росту заряженных аэрозолей с размерами порядка $10^{-8} - 10^{-7}$ см возрастает примерно в 1 тыс. раз. Положительное влияние на рост аэрозолей оказывает постоянное электрическое поле, которое организует ансамбль поляризованных частиц, ориентированных друг к другу разноименными полюсами.

Согласно экспериментам с аэрозолями, в электрическом поле, даже при небольшой напряженности (порядка 10 В/см) эффект в их росте составляет более 100%. Для частичек воды с размерами 100-600 мкм включение поля в 15 В/см увеличивает долю частиц, способных преодолеть энергетический барьер к коагуляции, с 30 до 90%, т.е. эффект разителен (в 3 раза).

Как показывают измерения над авроральными зонами, электрическое поле нижней атмосферы в связи с высыпаниями заряженных частиц может достигать таких значений и даже превышать их (например, ~ 1000 В/м). Этой величины вполне достаточно, чтобы существенно усилить процессы роста и коагуляции микроскопических аэрозолей.

Высыпания заряженных частиц при увеличении ионизации атмосферы и эффектов в электрическом поле могут стимулировать процессы роста и коагуляции аэрозолей, образование кластеров. Подтверждением этому служит *известный факт помутнения верхней атмосферы после интенсивных высыпаний заряженных частиц*. Кроме этого, имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о наличии стабильного аэрозольного слоя на высоте 70 - 75 км, близкой к высоте максимума ионизации за счет высыпающихся электронов.

Таким образом, исследование заряженных тяжелых кластеров, которые могут образовать заряженные микроскопические аэрозоли воды, представляет определенный научный интерес в поиске управляющих звеньев в цепи солнечно-атмосферных связей.

О влиянии космических факторов на погоду.

В атмосфере на высотах 0-20 км имеются огромные запасы скрытой энергии в виде влажного воздуха, определенным образом распределенного по высоте. Причем большая часть этой энергии атмосферы $> 60\%$ не реализуется, свободно перемещается над континентами и не участвует в перестройке циркуляции атмосферы. За сезон она изменяется от $6 \cdot 10^7$ Дж/м² до 10^8 Дж/м². Энергия порядка $6 \cdot 10^7$ Дж/м² - не освобождается в атмосферных процессах. Это эквивалентно энергии от сжигания 12 т бензина на гектар, которые непозволительно проходят мимо.

Причем оставшееся изменение скрытой энергии в основном обусловлено сезонным переходом зима-лето. А на изменения циркуляции атмосферы, связанные с перестройкой традиционного течения погоды, затрачивается незначительная во много раз меньшая часть скрытой энергии (порядка 1%). Чтобы её освободить, необходимо создать вертикальное перемещение воздушных масс вверх в месте, где имеются в данный момент большие запасы скрытой энергии.

Как это происходит? При подъеме вверх влажный воздух охлаждается, и влага конденсируется в мелкие капельки (или кристаллики льда). В этом процессе выделяется тепло ≈ 1000 кал/г, которого в отдельных случаях бывает достаточно, чтобы в дальнейшем такой процесс сам себя поддерживал. (Теплый воздух будет перемещаться вверх, вовлекая нижние, более влажные слои, богатые скрытой энергией и т.д.).

Скрытая энергия освобождается в различных спусковых механизмах. А для включения спускового механизма необходимо затратить ничтожные количества энергии. В некоторых работах указывается, что вызвать перестройку циркуляции атмосферы могут порции энергии всего порядка 10^{-4} Вт/м, т.е. равной энергии лампочки от карманного фонаря, распределенной на гектар. По данной оценке атмосфера должна обладать большой степенью неустойчивости, и освобождение скрытой энергии должно происходить достаточно эффективно в естественных процессах.

Но, как известно, такого не происходит. Для освобождения скрытой энергии необходимы еще условия, повышающие эффективность конденсации водяного пара атмосферы. И атмосфера постоянно испытывает недостаток в таких условиях, потому что *в верхних слоях тропосферы влага воздуха не всегда конденсируется и собирается в облаках*. Да и не всегда в облаках происходит укрупнение капелек до размеров, достаточных для выпадения осадков. Для реализации процесса необходима еще определенная концентрация ядер конденсации (или сублимации) водяного пара. Ядрами обычно служат аэрозоли, ионы различных веществ, почти всегда в определенном количестве имеющиеся в воздухе.

Кроме того, атмосфера имеет слоисто-ячеистую структуру. Чтобы ее преодолеть, ядра конденсации (или сублимации) должны быть почти одновременно распределены на большой площади размерами в тысячи километров и в достаточно большом интервале высот. В противном случае выделившееся при конденсации тепло не выведет атмосферу из состояния традиционного равновесия для освобождения скрытой энергии в перемещениях воздушных масс. И это далеко не все.

Огромные воздушные массы имеют большую инерцию. Поэтому для изменения традиционной циркуляции атмосферы необходимо исследовать медленные процессы освобождения скрытой энергии на большой площади и в больших объемах в размере континента или всей планеты, не меньше.

Активные эксперименты в атмосфере показали, что существуют вещества (например, йодистое серебро), которое можно вносить в атмосферу в виде аэрозолей для усиления процессов сублимации и конденсации водяного пара. Из экспериментального исследования видно, что, во-первых, подтверждено существование спускового механизма освобождения скрытой энергии через аэрозоли, а во-вторых, главное, что атмосфера испытывает голод по концентрации веществ, способствующих конденсации пара. Причем недостаток таких аэрозолей, которые служат эффективными ядрами конденсации, атмосфера испытывает в любом месте от полюса до экватора, в любое время суток, зимой и летом.

Перечисленные выше примеры стимулируют процессы быстрого освобождения скрытой энергии, но которые имеют местное значение и не изменяют общего характера традиционной циркуляции атмосферы. Чтобы рассеять за короткое время в масштабе континента такие аэрозоли, не хватит йодистого серебра (потребуется многие миллионы тонн), да и всего количества авиации, даже в обозримом будущем. Диффузия в тропосфере мала, например, след от реактивного самолета за многие часы никогда не распространяется на весь небосклон.

На больших же высотах >100 км диффузия велика. Через несколько часов на этих высотах рассеянные вещества могут распространиться на большой площади. Следует заметить, что радиолит вещества воздуха может происходить и в процессе вторжения в верхнюю атмосферу высокоэнергичных нейтральных частиц H, He, O и др. В процессе перезарядки эти частицы некоторое время бывают заряженными. И, как все энергичные заряженные частицы, они образуют ионы (в те моменты времени, когда они существуют в виде заряженных частиц).

Но в отличие от электронов, - они в моменты времени существования в виде нейтральных частиц в верхней заряженной атмосфере, могут проходить большие расстояния, пересекая силовые линии магнитного поля Земли. Благодаря этому диффузия таких частиц будет огромной, по-видимому, на всех широтах долготного сектора, соответствующего высыпанию частиц из магнитосферы. Кроме того, и сами частицы после потери энергии могут участвовать в ионно-молекулярных реакциях.

Значительные потоки таких частиц наблюдаются в большом интервале широт. Например, большие потоки измерены на средних широтах в работах. Возможно, усилительные и управляющие механизмы генерации будут обусловлены именно этими частицами. Поэтому очень важно исследовать геофизические законы, определенным образом связанные с усилением процесса конденсации водяного пара в атмосфере и физическими особенностями околоземного космического пространства. Заметим, что грозное облако с дождем в стратосфере никогда не возникнет (не хватит влаги в стратосфере). Но остатки воды на этих высотах могут быть использованы природой для генерации микроскопических аэрозолей - очень гигроскопичных веществ или использованы в процессах, перерабатывающих вещество воздуха в аэрозоли.

Заключение

Круг вопросов, относящихся к проблеме поиска управляющего механизма солнечно-атмосферных связей, чрезвычайно широк. В связи с этим данная работа поисковая и подчинена только одной задаче: попытаться осветить возможность разработки физико-химического механизма воздействия корпускулярной активности Солнца на атмосферу. Для этой цели автор использовал уже известные и обсуждаемые в научной литературе (по тому или иному поводу) реакции и процессы. Предлагаемая схема не является законченной, она может быть дополнена количественными расчетами или вообще изменена, но, тем не менее, вся совокупность обсуждаемых реакций и процессов,

по мнению автора, указывает на реальную возможность существования физико-химического механизма воздействия корпускулярной активности Солнца на атмосферные процессы.

За последнее десятилетие в исследовании проблемы солнечно-атмосферных связей имеется определенный прогресс. В частности, по наблюдаемому экспериментальному материалу атмосферных параметров подтверждена реальность воздействия корпускулярной активности Солнца на атмосферу. Но в этой проблеме очень много вопросов и один из них: существуют ли управляющие механизмы солнечно-атмосферных связей?

Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования помогут лучше изучить хотя бы отдельные стороны этой большой проблемы. При этом особый интерес представляет поиск управляющих звеньев в цепи солнечно-атмосферных связей. Очень заманчивой является потенциальная возможность через управляющие звенья использовать энергию Солнца в практических целях.