

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ПОГОДУ *)

Б. Дж. Мейсон

ВВЕДЕНИЕ

Погода играет такую важную роль в жизни и деятельности человечества, что вопрос о возможности управления ею занимал человеческую мысль с незапамятных времен. Первобытный человек, приписывавший капризы погоды насмешкам богов, пытался добиться изменений их настроения молитвами и жертвами. Развитие научных знаний и насущные экономические потребности неизбежно должны были побудить человека попытаться оказать более непосредственное воздействие на природу. Однако в этом деле встречаются огромные трудности; не последнее место среди них занимает недостаточное понимание естественного поведения атмосферы. Хотя время от времени входило в моду приписывать аномальные изменения погоды возмущениям, производимым человеком (артиллерийская пальба, беспроводный телеграф, авиация, водородные бомбы и т. д.), в действительности мы все еще очень далеки от того, чтобы иметь возможность сколько-нибудь существенно управлять атмосферным механизмом. Правда, в последние годы был достигнут некоторый успех, о котором будет сказано ниже, но его значение преувеличивается. Даже наиболее наглядные результаты следует истолковывать весьма осторожно. Даже открытие высокой степени корреляции между двумя рядами данных в метеорологии никоим образом не является доказательством причинной связи между ними, потому что атмосфера ведет себя не как контролируемый лабораторный эксперимент, в котором большинство параметров фиксировано, а остальные изменяются подконтрольно, так что можно надеяться найти непосредственные соотношения между ними. В атмосфере мы имеем систему непрерывно изменяющихся параметров, взаимодействующих между собой очень сложным образом. В этом и состоит главное препятствие на пути к полному описанию и пониманию поведения атмосферы и предсказанию и управлению погодой.

Вследствие этой чрезвычайной сложности и изменчивости метеорологических явлений и неполного понимания нами происходящих в атмосфере физических процессов невозможно предсказать с абсолютной надежностью возможные следствия искусственных воздействий на погоду. Любое предсказание, подобное прогнозу погоды, должно выражаться на языке вероятностей; правда, это не значит, что одно предположение так же хорошо, как и другое; в настоящее время имеется уже достаточно сведений о масштабах атмосферных процессов и об их зависимости от времени, чтобы можно было провести критический анализ.

Так, например, вероятность возмущения большой области атмосферы произвольным применением грубой силы представляется исчезающе малой,

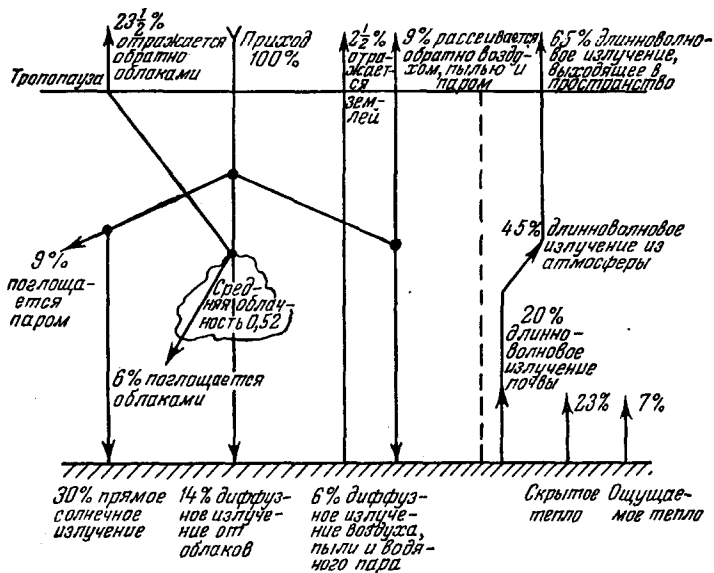
*) Изложение публичной лекции, прочитанной на съезде Британской Ассоциации распространения науки в сентябре 1955 г. Перевод С. А. Каменецкого.

когда мы вспоминаем, что атмосферный механизм приводится в действие лучистой энергией солнца, количество которой, усредненное по всем широтам и за сутки, эквивалентно взрыву по одной водородной бомбе в каждую секунду. Даже небольшая гроза освобождает энергию, равную десяти атомным бомбам, а энергия, рассеиваемая типичным ураганом, эквивалентна нескольким сотням водородных бомб. Если же рассматривать еще большие метеорологические возмущения, например депрессии, то количество кинетической энергии, связанное с ними, колоссально, поскольку при этом должны быть сдвинуты массы воздуха порядка биллиона (10^{12}) тонн, для того чтобы создать падение давления.

Поэтому представляется крайне невероятной надежда влиять на поведение атмосферы (за исключением очень ограниченного местного влияния), используя против огромных сил природы то количество энергии, которое имеется в нашем распоряжении. Если мы хотим иметь какой-нибудь шанс на успех, то мы должны направить нашу атаку на отыскание слабых мест в природе, а не пытаться производить прямое фронтальное нападение.

ДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРНОГО МЕХАНИЗМА

Только тогда, когда мы получим значительно более полное описание атмосферной машины и глубже поймем механизм, приводящий ее в действие, мы сумеем обнаружить те элементы в атмосферном цикле, на которые человек мог бы успешно воздействовать. Тем не менее, общие принципы действия атмосферного механизма нам достаточно хорошо понятны.



Доля приходящего солнечного излучения, отраженная Землей как планетой = $23\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2} + 9 = 35\%$. Доля, поглощенная почвой и атмосферой = 65%. Доля, поглощенная у земной поверхности (прямое излучение 30% + диффузное излучение 20%) = 50%. Доля, расходуемая на испарение воды с Земли ($2\frac{3}{4}$ мм в день) = 23%.

$$\text{Суммарное среднее всего приходящего излучения} = 0,5 \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ мин}} = 720 \frac{\text{кал}}{\text{см}^2 \text{ день}}.$$

Источником энергии для атмосферы является солнечное излучение. Что происходит с этой лучистой энергией при ее прохождении сквозь тропосферу, содержащую среднее количество облаков, показано на рисунке. Из всего среднего потока солнечной энергии, приходящего к тропопаузе и достигающего

приблизительно $0,5 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$, около 35% отражается обратно в пространство облаками, составными частями атмосферы и земной поверхностью, а 65% поглощается атмосферой (15%) и Землей (50%). Доля, поглощенная Землей, состоящая как из прямого солнечного излучения, так и из излучения, рассеиваемого вниз атмосферой и облаками, либо излучается обратно в виде длинноволнового (инфракрасного) излучения (после использования части ее на испарение воды с земной поверхности), либо уносится в виде ощущаемого тепла конвекцией и всеми системами, образующими погоду. Часть энергии, поглощенной атмосферой, превращается в кинетическую энергию ветров, а эта энергия в свою очередь вновь превращается в тепло при трении, происходящем главным образом у земной поверхности.

Так как атмосфера в целом не нагревается и не охлаждается, то количество тепла, излучаемого в пространство в виде длинноволнового излучения, должно уравниваться излучением, поступающим от Солнца. Однако, если мы подсчитаем тепловой баланс для различных широт, то найдем, что между экватором и широтой 40° отдаваемое излучение меньше поступающего, а в более высоких широтах имеет место обратное. Таким образом, можно рассмотреть тропики и субтропики как источники тепла, а полюсы — как стоки тепла; а так как средние температуры тропиков и полюсов не меняются, то тепло должно непрерывно переноситься от экватора в направлении к полюсам. Можно также показать, что сток тепла должен находиться при более низком давлении (на большей высоте), чем источник тепла, а отсюда следует, что тепло должно переноситься не только по направлению к полюсам, но и вверх.

Разность температур между экватором и полюсами сохраняется и на более высоких уровнях, а с этим связана разность давлений, увеличивающаяся с высотой. Этот градиент давления вместе с действием вращения Земли порождает планетарный пояс западных ветров, интенсивность которых увеличивается с высотой до тропопаузы, но затем вновь падает в стратосфере. Однако подобная система динамически неустойчива для возмущений, имеющих в горизонтальном направлении размеры порядка 1000 км или более, так что если этот поток возмущается, то циркумполярный вихрь разбивается на ряд возмущений (депрессий) размерами каждое порядка 1000 км в поперечнике. Воздух в этих депрессиях движется от низких уровней и низких широт вверх и по направлению к полюсам вдоль слегка наклоненных поверхностей, между тем как воздух из верхних слоев движется вниз и по направлению к экватору. Таким образом, тепло переносится в тех направлениях, в каких это необходимо для радиационного баланса атмосферы. Именно эти, направленные вверх, вертикальные потоки воздуха в таких больших циклонах порождают обширные пояса облаков и дождя, являющиеся главными характеристиками погоды.

Таким образом, мы видим, что поле излучения определяет крупномасштабные особенности и среднюю интенсивность атмосферной циркуляции, которая, вследствие своей динамической неустойчивости, может принимать различные формы, могущие переходить одна в другую путем внутреннего перераспределения местных источников и стоков тепла и приводить к различным метеорологическим обстановкам. Таким образом, картина излучения и динамическое поведение атмосферы тесно связаны между собой.

Следует также рассмотреть взаимодействие с гидрологическим циклом, который использует часть солнечного излучения, поглощаемого земной поверхностью, на испарение воды с поверхности суши и океана. Среднее планетарное испарение оценивается приблизительно в $2\frac{3}{4} \text{ мм}$ в день или около 1 м в год, что, разумеется, равно среднему количеству осадков по всей планете. Водяной пар уносится вверх восходящими воздушными потоками (возникающими динамически или путем конвекции), наверху охлаждается и конденсируется и затем образует облака и выпадает в виде снега, дождя или града. Но образование облаков, являющееся результатом поглощения

излучения у земной поверхности и движений воздуха, в свою очередь действует на радиационный баланс, так как облака, которые в среднем отражают обратно около половины падающего на них солнечного излучения, оказывают сильное влияние на количество излучения, остающегося для приведения в действие атмосферного механизма.

Таким образом, мы имеем механизм с множественной обратной связью, который трудно понять в целом и составные части которого нельзя легко изолировать друг от друга для отдельного изучения. Это значит, что обычно невозможно непосредственно проследить за связью между причиной и следствием ввиду наличия связей между различными промежуточными ступенями.

ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГОДУ

Рассмотрев вкратце принципы действия атмосферного механизма, мы можем теперь перейти к исследованию возможностей нарушения его деятельности. Принципиально можно изменить погоду путем вмешательства либо в радиационный баланс, либо в развитие динамических систем, либо, наконец, в гидрологический цикл. Любое крупное изменение, внесенное в один из этих факторов, по-видимому, может воздействовать на другие в таких размерах, которые зависят от степени взаимодействия между ними.

а) Изменение радиационного баланса

Очевидным методом изменения количества приходящего в атмосферу солнечного излучения было бы отражение значительно большей доли этого излучения обратно в пространство путем создания искусственного зеркала. Можно представить себе два возможных типа зеркала: создание плотного слоя пыли в верхней атмосфере или искусственное увеличение количества облаков, являющихся эффективными рефлекторами солнечного излучения.

Если бы в нижней стратосфере в течение ряда месяцев находился слой пыли или дыма достаточно плотный, чтобы срезать заметную долю солнечного излучения, то едва ли можно сомневаться, что в результате произошло бы понижение температур на земной поверхности. Изменения могли бы также произойти в температурном градиенте в направлении север — юг и в интенсивности атмосферной циркуляции, что вызвало бы сопровождающие их изменения в ветрах и выпадение осадков. Однако при оценке количества пыли, которое потребовалось бы для того, чтобы произвести существенные изменения, вызывает невольное изумление тот факт, что огромные количества пыли, выброшенной в атмосферу извержением вулкана Кракатау в 1883 г., которое, по некоторым оценкам, уменьшило количество прямого солнечного излучения на 10% и заведомо являлось причиной различных оптических явлений в течение трех последующих лет, не вызвало существенных понижений земных температур или изменения количества осадков. Такие изменения не легко заметить, если они недостаточно велики; даже в настоящее время, при наличии значительно улучшенной наблюдательной сети, трудно обнаружить малые общие тенденции температуры вследствие больших областей положительных и отрицательных аномалий, встречающихся ежегодно на земле. С другой стороны, исключительно плотная дымовая завеса, образовавшаяся в результате лесных пожаров в Канаде и проходившая над восточной частью США в сентябре 1950 г. (она была причиной появления так называемого «голубого солнца» в Европе), снизила максимальные дневные температуры на 5°.

Другим возможным методом создания отражающего зеркала было бы образование искусственного слоя облаков в верхних слоях атмосферы. Даже тонкий слой перистых облаков экранировал бы 15% приходящего солнечного излучения. Предполагалось, что подобный солнечный экран можно создать при помощи самолетов, оставляющих за собой конденсированные струи, и что по-

добный метод можно применить в полузасушливых районах для уменьшения очень высокой степени испарения почвы, которое происходит при ясном небе. Однако для того, чтобы покрыть большую площадь, количество самолетов должно быть столь велико, что предложение оказывается неэкономичным.

б) Приведение в действие динамических возмущений

Единственное предположение о возможном непосредственном вмешательстве в динамику атмосферы, которое можно себе представить, основано на том факте, что крупные метеорологические явления, например депрессии, могут быстро нарастать из небольших возмущений — небольших нарушений динамически неустойчивого течения крупного масштаба — и что вследствие этого, казалось бы, возможно начать последовательность возмущений погоды при помощи некоторого инициатора, быть может, в форме бомбы. Это соображение, по-видимому, основано на недостаточном понимании того, что большие области атмосферы часто так тонко сбалансированы, что небольшое возмущение почти в любой точке начинает быстро расти и может развиваться в направлении, совершенно отличном от ожидаемого. Фактически вследствие большого числа непрерывно создающихся естественных возмущений применение подходящего искусственного стимула в точно выбранный момент и в точно выбранном пункте так, чтобы оно развивалось преимущественно перед другими, представляло бы совершенно исключительную удачу. Кроме того, трудно было бы оценить результаты такого эксперимента, так как на карте погоды, по-видимому, нет возможности различить между эффектами, вызванными искусственным стимулом, и результатами естественных возмущений. Во всяком случае эффекты, вызванные каким-нибудь специальным начальным возмущением, по-видимому, кратковременны — самые активные метеорологические системы имеют тенденцию к вырождению через несколько дней и заменяются другими, возникающими в каком-нибудь другом месте. Поэтому, по-видимому, нет никакой надежды в настоящее время управлять погодой, например, в течение целого сезона, путем соответствующего «запуска» атмосферы.

Можно представить себе, что изменения в общей циркуляции атмосферы могут быть произведены путем перераспределения источников и стоков тепла в атмосфере или в океанах, поскольку последние действуют не только как большие резервуары тепла, но также принимают участие в переносе тепла в направлении к полюсам. Некоторое перераспределение температуры в океанах (которое может произойти, например, при частичном расплавлении полярных льдов), вероятно, вызвало бы изменения в погоде и в климате, однако такие возможности не выходят за пределы спекулятивных размышлений.

в) Изменение гидрологического цикла

Принципально темп цикла испарение — конденсация — осадки можно было бы изменить различными путями. Скорость испарения воды с земной поверхности можно было бы изменить путем изменения количества приходящего солнечного излучения, как уже было указано, путем применения ирригации в больших масштабах или препятствуя улетучиванию молекул воды с открытых водных поверхностей.

Были предложены схемы создания больших искусственных озер в полузасушливых районах в предположении, что увеличение скорости испарения благодаря новым водным поверхностям вызовет увеличение количества осадков и что дождевые осадки могут привести к еще большей поверхности испарения и т. д. Другими словами, после создания большого водного резервуара вода может распределяться по окружающей местности атмосферой, и вся система уже станет самоподдерживающейся. К сожалению, атмосфера,

по-видимому, не станет сотрудничать в подобном предприятии, и скорее всего может случиться, что значительная часть испарившейся воды выпадет в виде осадков очень далеко от места испарения и лишь небольшая доля придется на желаемое место. Если применение описанного метода преследует только эту цель, то, вероятно, было бы гораздо эффективнее и экономичнее подвести воду к потребителю обычными ирригационными методами, чем заставить ее циркулировать через атмосферу.

В настоящее время в Австралии проводятся эксперименты с целью выяснения, в какой степени можно уменьшить испарение естественных водоемов путем покрытия их очень тонкими химическими пленками. Оказывается, что мономолекулярные слои определенных спиртов с прямолинейной цепочкой могут снизить испарение приблизительно на 40% при нормальных летних условиях в Южной Австралии и что на действие таких пленок мало влияют ветер и пыль. Подсчитано, что около 3 центнеров такого вещества в кристаллической форме достаточно для обработки 2,5 км² водной поверхности и что действие этого вещества будет длиться по меньшей мере несколько месяцев. В настоящее время производятся опыты в больших масштабах, за которыми будет очень интересно проследить.

ВОДОРОДНАЯ БОМБА И ПОГОДА

При оценке плохого лета 1954 г. обычно в качестве «козла отпущения» приводилась водородная бомба.

По одной теории получалось так, что бомба могла повлиять на погоду путем увеличения концентрации в атмосфере тонкой пыли, что и послужило причиной холодного лета. Однако бомба произвела гораздо меньше пыли, чем Кракатау, когда слой пыли был видим невооруженным глазом и тем не менее он не произвел заметных изменений в средней температуре и в среднем количестве осадков на поверхности Земли. Эффект взрыва бомбы, который, вероятно, был в тысячу раз менее мощным, чем извержение Кракатау, конечно, должен был быть соответственно меньшим.

Оценивая возможность того, что бомба могла привести в действие большие динамические возмущения, можно только повторить, что шансы на это чрезвычайно малы, если учесть множество естественных возмущений. Но даже если допустить такое невероятное происшествие, то следует сказать, что влияние его исчезло бы в течение нескольких дней без следа.

Разумеется, можно себе представить, что большой взрыв может повлиять на погоду в непосредственной близости. Однако мало вероятно, чтобы энергия почти мгновенного взрыва послужила непосредственной причиной образования шторма, так как процессы конденсации и образования дождя требуют 30 минут и более, в течение которых энергия должна подаваться непрерывно. Таким образом, взрыв атомной бомбы, вероятно, имел бы небольшие прямые последствия, за исключением таких особых обстоятельств, которые, например, имели место при подводном взрыве у Бикини в июле 1946 г., когда выброс больших количеств воды и пара вызвал достаточное увеличение влажности тропических воздушных масс для того, чтобы проявить их неустойчивость и привести к образованию облаков и дождя, длившегося около 30 минут. Разумеется, атомное и ядерное оружие может косвенно вызвать местные штормы. После взрыва в Хиросиме во многих местах возникли пожары и вскоре разразилась гроза в результате подъема горячего воздуха. В случае водородной бомбы нагревание почвы под ней вследствие излучения огненного шара может вызвать конвекцию, которая сохранится некоторое время после взрыва.

Высказывалось также предположение, что ионизованные частицы, создаваемые бомбой, могут действовать как дополнительные центры конденсации и могут привести к увеличению осадков. Но хотя малые ионы могут ускорить

конденсацию в камере Вильсона, требуемое сверхнасыщение очень велико, — вероятно, в несколько тысяч раз больше того, которое имеется в естественных облаках. Это получается потому, что в атмосфере уже имеется достаточное число значительно больших частиц, чтобы они могли послужить центрами конденсации имеющегося водяного пара и не допустить, чтобы сверхнасыщение достигло такого значения, при котором малые ионы могли бы принять участие в процессе конденсации.

Пожалуй, можно, подводя итоги, сказать, что хотя было бы неразумно категорически утверждать, что водородная бомба не могла оказать никакого влияния на погоду, все же можно считать весьма невероятным, чтобы случайные взрывы в таких размерах, в каких они производятся в настоящее время, могли вызвать более чем местные и преходящие эффекты.

Рассмотренные выше методы изменения погоды представляются малообещающими. В заключение обратимся к более обнадеживающему направлению, в котором уже достигнут некоторый успех.

ИСКУССТВЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБЛАКА И ВЫЗЫВАНИЕ ДОЖДЯ

В течение последних нескольких лет было неопровержимо доказано, что можно вызвать дождь из подходящих облаков путем «засева» их сухим льдом, иодистым серебром, каплями воды, частичками соли и т. д. в условиях, когда из аналогичных необработанных облаков, находящихся поблизости, дождь не идет. Оказалось, что имеется два главных механизма образования дождя. Один механизм состоит в росте кристалликов льда, их агрегации в снежные хлопья, плавлении последних и превращении их в дождевые капли. Такой механизм и вызывает большинство захватывающих большие области «обложных» дождей, выпадающих из больших систем слоистых облаков. Второй механизм состоит в том, что капли, превышающие по размерам средние капли в облаке, продолжают расти путем столкновений и коалесценции за счет их меньших соседей; этот механизм имеет значение только для ливневых облаков.

Эксперименты по вызыванию дождя проводятся в предположении, что из некоторых облаков осадки или совсем не выпадают, или выпадают неэффективно, потому что в естественном состоянии облака в нем отсутствуют кристаллы льда или сравнительно большие водяные капли (способные начать процесс коалесценции); что этот недостаток можно исправить путем искусственного «засева» облаков «сухим льдом» или иодистым серебром (для получения кристаллов льда) или путем введения капелек воды или больших гигроскопических ядер.

Один тип экспериментов состоит в том, что с самолета на верхнюю часть переохлажденного (при температуре ниже 0°C) облака сбрасываются шарики сухого льда диаметром около 1 см. Каждый шарик производит около 10 000 миллиардов маленьких кристаллов льда, так что достаточно всего нескольких килограммов сухого льда для засева большого кучевого (ливневого) облака. Более двухсот таких экспериментов, выполненных в Австралии, Канаде и Южной Африке, неопровержимо доказали, что из кучевых облаков, находившихся в определенной стадии развития, искусственно вызывался дождь, между тем как из соседних не подвергавшихся засеву облаков осадки не выпадали.

Более новым развитием этих экспериментов являются попытки стимулировать процесс коалесценции в ливневых облаках. С помощью самолетов, снабженных водяными баками и разбрызгивателями, в основание развивающихся облаков вводились капли диаметром приблизительно в $\frac{1}{20}$ мм; таким образом, облако снабжалось большими каплями, необходимыми для начала процесса коалесценции. Первые эксперименты, проведенные в Австралии, дали обнадеживающие результаты; в десяти экспериментах из одиннадцати был вызван

дождь, причем в четырех случаях были вызваны сильные осадки. Некоторый успех был достигнут также в новейших опытах с тропическими кучевыми облаками в Карибском море.

Тот факт, что морские брызги являются важным естественным источником больших капель, наводит на мысль о том, что было бы экономичнее вместо водяных капель разбрызгивать кристаллы соли; кристалл соли диаметром в 0,01 мм разрастается в каплю в пять раз большую при прохождении через нижний слой облака толщиной в 0,5 км, так что вместо 4,5 литра воды достаточно воспользоваться 100 г соли. В Англии было проведено несколько экспериментов с засевом солью с самолета в 1952 г. Затем в Восточной Африке были проведены опыты с шарами-баллонами, снабженными бомбами, начиненными смесью пороха с тонко размолотой солью, а в Пакистане сухой климат обеспечил возможность проведения опытов с рассеиванием соляной пыли с земной поверхности. Хотя результаты опытов нельзя считать окончательными, они все же обнадеживающие и можно полагать, что этот метод окажется достаточно эффективным для вызывания ливня из теплых кучевых облаков.

Однако ввиду того, что пытаться проводить при помощи самолетов опыты в больших масштабах с целью вызвать выпадение осадков из обширных систем облаков, простирающихся на тысячи квадратных километров, неэкономично, для этой цели вошло в практику распылять иодистое серебро с поверхности земли в виде дыма, в предположении, что восходящие воздушные потоки доставят это вещество в переохлажденные области облака. Иодистое серебро было применено ввиду сходства его кристаллической структуры со структурой кристаллов льда; однако особенная эффективность кристаллов этого вещества в качестве ядер конденсации и образования льда требует более детального дальнейшего исследования. При современных методах использования, заведомо не являющихся наилучшими, иодистое серебро неэффективно при температурах выше -5° С, но ниже -15° С 1 г иодистого серебра может при распылении образовать 1000 миллиардов ядер конденсации. Разумеется, при таком методе распыления невозможно управлять дальнейшим переносом дыма. Мы не можем произвести надежную оценку концентрации ядер, достигших уровня облака, и не можем знать, сколько времени иодистое серебро удерживает в атмосфере свои свойства образовывать ядра конденсации. Эти неизвестные факторы и невозможность точной оценки того, сколько осадков выпало бы естественным путем при отсутствии засева, сильно затрудняют проектирование таких операций в крупных масштабах и оценку их результатов. Несмотря на большие претензии коммерческих фирм, занимающихся вызыванием дождя, опубликованные данные не содержат убедительных доказательств того, что таким способом может быть достигнуто значительное увеличение осадков длительно и на больших площадях. Хотя вполне допустимо, что при соответствующих условиях можно вызвать дополнительные осадки в размерах порядка 10—20%. Как правило, ни в одном районе эти операции не были проведены в течение достаточно продолжительного времени и не были спроектированы таким образом, чтобы к ним можно было применить достаточно надежные и чувствительные методы оценки, позволяющие отделить эффекты указанного порядка от случайных флуктуаций естественных осадков. Для того чтобы получить надежные данные, вероятно, следовало бы проводить в течение нескольких лет систематические эксперименты и подвергнуть их результаты тщательной статистической обработке. Следовало бы многое сказать и о выборе благоприятной обстановки и снижении числа переменных. Так, например, разумно длительно засеивать переохлажденные облака, образующиеся при восхождении влажного воздуха над большим горным хребтом, так как при этом есть основание ожидать, что иодистое серебро, выпущенное на наветренных склонах, будет подхвачено непрерывно образующимися облаками и вызовет усиленный снегопад на подветрен-

ной стороне. Кроме того, в этом случае имеются реальные шансы обнаружить результаты визуально.

Рассматривая возможность засева облаков, не следует упускать из виду, что суммарное увеличение осадков в масштабе всей Земли означает ускорение всего гидрологического цикла; поэтому, пожалуй, более реальным является предположение о возможности некоторого перераспределения осадков путем предвосхищения естественного выпадения осадков. Обсуждалась также возможность уменьшения осадков и предупреждения града и грозы путем «перезасева» облаков, однако практические трудности здесь таковы, что эти идеи еще подлежат серьезной проверке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя выдвигался ряд возможных способов изменения поведения атмосферы, только некоторые из них могут выдержать критерий практики. Имеется некоторая надежда повлиять на погоду в местном масштабе, может быть, путем вмешательства в цикл испарения и осадков, но еще требуется доказать, что применяемая техника пригодна и для успешного использования ее в больших масштабах. Однако дальнейшее интенсивное изучение атмосферных процессов может еще открыть до сих пор неизвестные слабые звенья в цепи явлений природы, которые можно будет использовать на благо человечества.
