



## АТМОСФЕРА: НАША ЖИЗНЬ И НАШИ ПРОБЛЕМЫ

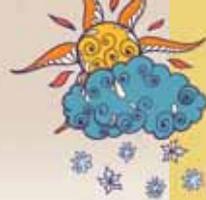
Посмотрите на небо. Тишина, пустынная дорога, заснеженный лес, а над всем этим — сияние луны в волшебном круге. Какая красота! Но синоптик — специалист по прогнозу погоды — знает, что эта красота, увы, ненадолго. Появление на небе геометрически правильного круга вокруг луны или солнца означает, что через 4—5 часов пойдет снег и будет продолжаться 6—8 часов, а потом потеплеет. Откуда он это знает?.. Есть такая наука — синоптическая метеорология, она изучает все многообразие изменений погоды и находит способы их предсказания. В этой книге мы раскроем тайны самой изменчивой на Земле среды — атмосферы, узнаем, как можно предсказывать ее поведение, и даже научимся самостоятельно угадывать погоду на день-два вперед.

Желание знать, что будет дальше, вообще в природе человека, и к погоде это относится прежде всего — ведь ничто не меняется так быстро. А она сильно влияет на нашу жизнь... Вот вы собрались в срочную поездку, а самолеты не летают — «погоды нет», задумали отдохнуть на природе, а зарядил дождь и все испортил. Это чувствительные и неожиданные удары по вашим планам. А теперь представьте себе, что в большом городе мороз «под 40» и отопительная сеть где-то не выдержала. Это уже драма для тысяч людей, ведь они к ней совершенно не подготовлены. Мало того, «капризы погоды», если их не предвидеть заранее, стоят очень больших денег: ремонт и восстановление созданной человеком среды, в которой мы живем, — это миллионы и миллиарды рублей. Наконец,



Ясная зимняя ночь.  
Гало вокруг луны.





стихия может унести человеческие жизни, которым нет цены. Значит, своевременный прогноз погоды и грамотная реакция людей на ее изменения — одна из самых насущных задач человечества.

Существует мнение, что с ростом научно-технического прогресса наша зависимость от погоды уменьшается. Это неверно. Роль метеорологии и прогнозов погоды в жизни людей с течением времени только увеличивается.

При этом задача прогноза погоды — одна из самых сложных. Еще гениальный М. В. Ломоносов в XVIII в. говорил: «Человеку ничего не оставалось бы требовать от Бога, если бы он научился правильно погоду предсказывать». Предви-

дение Ломоносова подтвердилось и в XX в., когда наука достигла невиданных высот. Замечательный ученый, президент Академии наук СССР С. И. Вавилов назвал три самые сложные и самые актуальные проблемы науки: создание управляемой термоядерной реакции, дающей людям бездонный и безопасный источник энергии; лечение раковых заболеваний и... прогноз погоды. Вот какое место занимает наука метеорология.

Но не будем бояться сложностей, ведь благодаря атмосфере мы с вами живем на Земле, дышим и радуемся. Попробуем же разгадать ее характер, постигнуть ее красоту, научиться понимать и предвидеть капризы погоды.





## ПОГОДА И ЧЕЛОВЕК

Погода вошла в жизнь человека с самого начала его жизни на Земле.

*Помнишь мезозойскую культуру?  
У костра сидели мы с тобой,  
Ты мою разорванную шкуру  
Зашивала костяной иглой.*

Автор этой занятной песни несколько поторопился — в мезозое на Земле

еще не было людей, — но в принципе жизнь первобытного человека описал правильно. Действительно, какие задачи решал человек на заре своей эры? Всего две: добывание пищи и защита от непогоды. Люди постоянно поддерживали огонь в очаге, строили примитивные шалаши, укрывались в пещерах и шили теплую одежду из шкур животных — все это для того, чтобы защититься



## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



Одно из первых изображений шторма на море в русских летописях. Корабли и люди тонут, их поглощают огромные волны. А вдали видна причина бедствия — штормовое облако с вертикальным вихрем невиданной силы — смерчем. Это явление до сих пор до конца не познано наукой, но проявляется себя во всех уголках мира. На юге США оно особенно сильно развито и называется торнадо.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

от холода, дождя, снега, а иногда и спасти свою жизнь.

Прошли века, человек освоился на Земле, завел сельское хозяйство: стал разводить скот, сажать злаки и делать

Высококучевые волнистые облака, высота 2—4 км. Солнце уже зашло за горизонт, его последние лучи, проходя огромную массу воздуха, теряют все цвета видимого спектра, кроме темно-красного. Ненадолго создается фантастическая, даже угрожающая, картина. На самом деле такой вид облаков ничего плохого не сулит. Настанет день, и эти облака снова будут «белые и пушистые».

хлеб, копать грядки и выращивать овощи. Жизнь стала полегче, но человек по-прежнему зависел от погоды — засухи и проливные дожди, заморозки и град губили урожай, молнии сжигали дома, наводнения и сели — грязевые потоки с гор — сметали все на своем пути. О морях и говорить нечего: от погоды полностью зависела жизнь десятков людей, втиснутых в скорлупку, называемую кораблем.

Один английский метеоролог, долго плававший на так называемых «судах погоды» (о них речь будет позже) уже в XX в., выразился прямо: «Можно увильнуть от налогов, но погоду не об-





Два заката. В первом случае завтра следует ожидать дожди, во втором случае — спокойную, ясную погоду. Погода приходит к нам главным образом с запада, и красный цвет вечернего неба означает, что на нас надвигается воздушная масса, насыщенная влагой. Она пропускает только красные лучи солнца. Сухой воздух — голубое небо.



манешь!» Да что же это такое?! Научно-технический прогресс ведь не зря существует, одни холодильники и кондиционеры, да и многие другие изобретения настолько облегчили жизнь, что можно о погоде и забыть. Ан нет! Представьте себе сильную бурю над одним и тем же промышленным районом в XIX в. и сейчас, в веке XXI. Совершенно ясно, что в настоящее время, при необычай-

но сложном и разветвленном хозяйстве, размеры экономического ущерба будут значительно большими, чем раньше. Крупная авария на электростанции или мощной линии электропередачи способна полностью парализовать целый город. Промышленность, транспорт, городское хозяйство — все это работает на электрической энергии. Подобные происшествия непосредственно ска-





зываются на жизни конкретных людей: остановились аппараты искусственного дыхания в больницах, хирург не может сделать срочную операцию, да и мы с вами остались без связи, без лифта, без горячей пищи и не можем никуда уехать. Или вот самолеты. Современные лайнеры действительно могут летать практически при любой погоде, но только при

Изображение оптических явлений вокруг солнца, наблюдавшихся 10 февраля 1785 г. в Ярославле. Основной светящийся круг — гало, ложные солнца по бокам, крест и дополнительные круги образуются вследствие преломления солнечных лучей ледяными кристаллами перисто-слоистых облаков. Появление гало на небе предвещает дождь или выпадение снега.

одном условии — если синоптик правильно предсказал дальность видимости, высоту нижней границы облаков, грозовые фронты по маршруту полета и многое другое, что должен учитывать летчик. Вывод парадоксальный на первый взгляд, но неумолимый: чем больше развита наша цивилизация, тем больше мы зависим от капризов погоды!

К чести наших предков, надо сказать, что они давно это поняли и учились предсказывать погоду, чтобы заблаговременно подготовиться к ее капризам и принять меры к снижению последствий от них. Так родились приметы погоды, авторами которых были древние земледельцы и моряки — ведь их труд больше всего зависел от погоды.

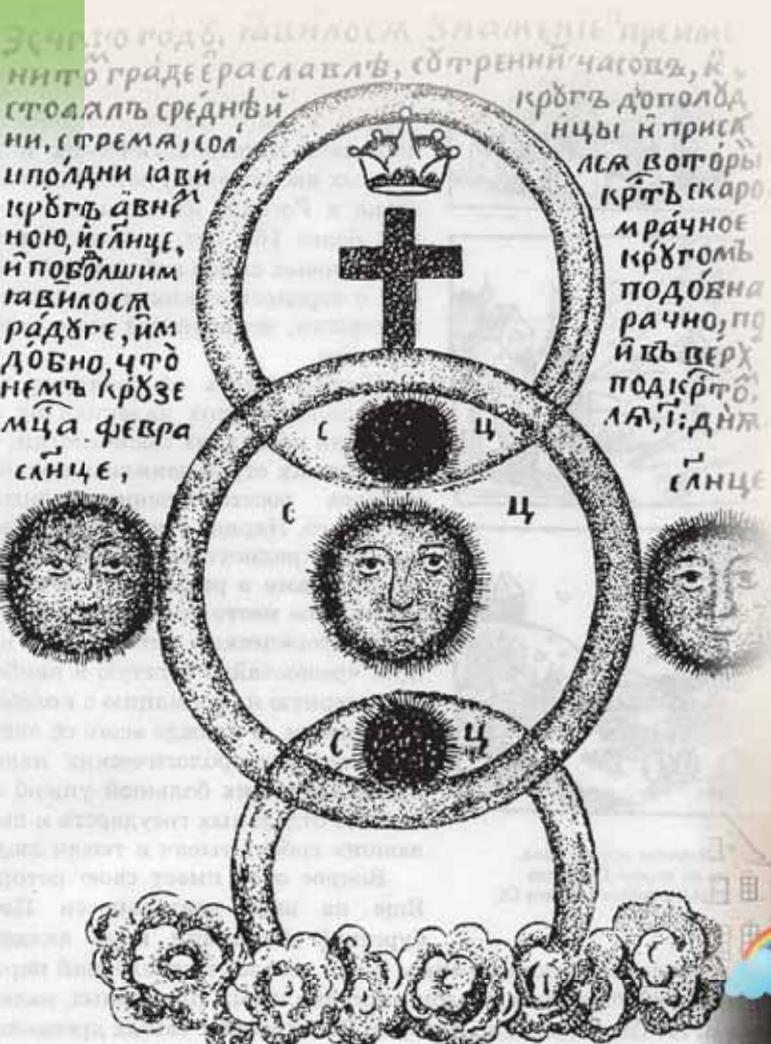
Приметы погоды можно разделить на три группы:

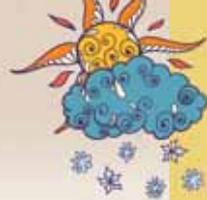
- одни описывают погоду определенного дня (календарные);
- другие предсказывают погоду на сутки-двое вперед (краткосрочные);
- третьи замахиваются на месяц или даже сезон вперед (долгосрочные).

Самые популярные, пожалуй, приметы календарные, например такие:

- «Афанасий-ломоноос — береги нос» (мороз 31 января);
- «На Марка небо ярко» (8 мая);
- «Введенье ломает леденье» (оттепель 4 декабря).

Ловко скроенные, приметы эти хорошо запоминаются и представляют собой как бы готовый на все времена прогноз погоды по дням. В России они обязательно привязаны к церковному календарю, поскольку для подавляющего большинства населения до 1917 г. он был основным. Календарных примет много, и если бы они абсолютно точно оправ-





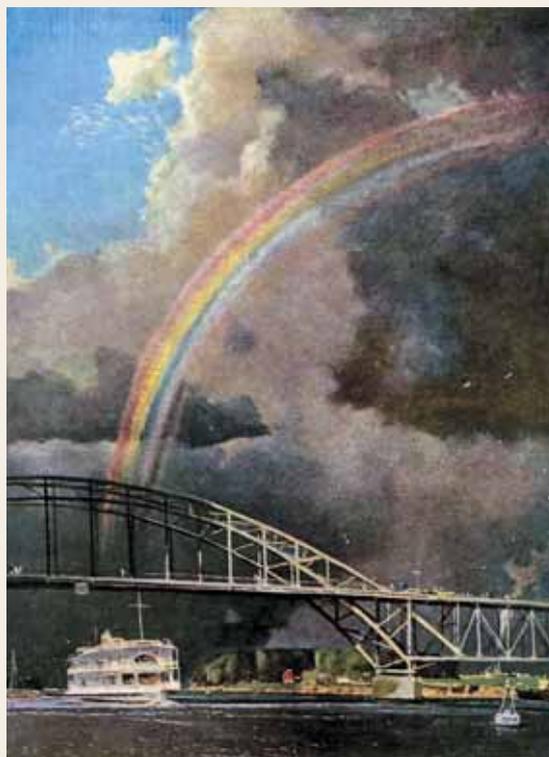
дывались, то из года в год наблюдалась бы совершенно одинаковая погода. Вы понимаете, что такого быть не может. Как говорится, год на год не приходится. Приметы эти просто отражали тот факт, что за много лет именно такая погода в этот день повторяется чаще, чем другая.

Иное дело — приметы краткосрочные, предвещающие погоду на один-два дня вперед. Дальше мы с вами увидим, что приметы эти имеют четкое физическое обоснование, подтверждаются наукой и им можно верить. Например, круги вокруг солнца предвещают дождь. Похолодание приносит ясную погоду. В который раз приходится поражаться гениальной интуиции А. С. Пушкина — среди множества разнородных примет он обратил внимание именно на эти, краткосрочные, хотя в годы жизни поэта науки о погоде — синоптической метеорологии еще не существовало.

*Старайся наблюдать  
различные приметы.  
Пастух и земледел  
в младенческие леты,  
Взглянув на небеса,  
на западную тень,  
Умеют уж предречь и ветер,  
и ясный день,  
И майские дожди, молодых полей  
отраду,  
И мразов ранний хлад, опасный  
винограду.*

Опытные синоптики, которые долго работают в одной местности, используют наряду с новейшими научными методами и краткосрочные приметы, или, как их называют, местные признаки погоды. Особенно по-

пулярны народные приметы погоды среди моряков. Даже при том, что сейчас практически на любом судне можно получить прогноз погоды по радио, со спутников или по факсимильной связи. Ну а раньше, когда всего этого не существовало, знание примет было обязательно для морехода: ведь иначе



Г. Нисский. Радуга. 1950 г.  
Прошла гроза, радуга образуется в уходящей на восток стене дождя, ведь перенос воздуха в наших широтах направлен с запада на восток. Какое время дня изображено на картине? Правильно — вечер, потому что солнце на западе и склоняется к закату.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

как предсказать шторм или штиль, который для парусных кораблей опасен не менее бури?

Жил когда-то известный капитан дальнего плавания Дмитрий Афанасьевич Лухманов. Среди его многочисленных плаваний было и такое: в 1908—1913 гг. он командовал учебным парусным судном «Великая княжна Мария Николаевна» на Черном море. И, чтобы научить юных моряков чувствовать море и погоду, уметь без посто-

ронней помощи предвидеть опасность, он делился с ними приметам. А чтобы курсанты прочно их запомнили, он стал рифмовать. Впоследствии Лухманов написал несколько книг, в которых стихотворные приметы занимают целые разделы. Вот одна из них:

*Если радуга с утра,  
Ты, моряк, не жди добра.  
Если дело к вечеру,  
То бояться нечего.*

Уходящая гроза и радуга в уходящем дожде.



## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



На этом примере можно показать, как объясняет народное творчество современная наука. Радугу на небе мы видим, когда солнце светит нам в затылок, а стена дождя, в которой она образуется, находится впереди. Если радуга видна с утра, значит, дождь идет на западе (солнце ведь на востоке), и, следовательно, скоро дождь дойдет нас, потому что в умеренных широтах Земли погода приходит в основном с запада. Если радуга появилась на небе вечером (солнце на

западе), следовательно, дождь ушел на восток, и установится хорошая погода.

Таким образом, люди придумали краткосрочные приметы погоды, еще не зная законов движения атмосферы, но они оказались достаточно надежными просто потому, что отражают эти самые законы.

Мы еще будем обращаться к краткосрочным приметам, а сейчас коснемся примет погоды третьей группы — долгосрочных. Так заманчиво, взглянув разок на небо, сказать, каким окажется предстоящее лето или зима, будет дождливо или сухо, ждать хорошего урожая или недорода. Таких примет тоже очень много, но «цена» у них совершенно другая. Метеорологи не пренебрегают народными приметам, но обязательно оценивают, насколько они сбываются. Давайте и мы проверим некоторые из наиболее распространенных долгосрочных примет погоды.

Наверное, вы не раз слышали: «Ну, раз зима была холодной, то лето ожидай жарким». В основе подобных рассуждений лежит на первый взгляд верная логика: должно же соблюдаться равновесие в природе! Однако логика самой природы в такую простую схему не укладывается. Возьмем несколько больших городов на европейской территории России, от Архангельска до Краснодара, и подсчитаем, сколько раз за последние 25 лет в этих городах после теплой зимы следовали холодные летние сезоны. Получится, что только в 10 годах из 25 наблюдалось такое, т. е. в 40% случаев. Выходит, примета неверна, скорее уж, наоборот, после холодной зимы надо ждать тоже холодного лета. А есть и такая примета: «Лето на холод, зима на мороз», т. е. пос-





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

ле холодного лета должна быть и зима холодная. Проверим. Оказывается, в тех же городах за 25 лет лето и зима были

«Башня ветров» в Афинах, сохранившаяся со времен Древней Греции. На ее гранях изображены крылатые фигуры — символы ветров различных направлений: Апарктий — северный ветер, Траский и Аргест — северо-западные ветры, Эвр — юго-восточный, Нот — южный, Зефир — западный, Кайкий — юго-западный.

одновременно холодными 13 раз, т. е. в 52% всех случаев.

Мы рассмотрели только две долгосрочные приметы погоды и увидели, что надежность их невысока. Опыт показывает, что надежность подавляющего большинства таких примет редко поднимается выше 60%. Можно пользоваться такими приметами? Современная наука отвечает, что нет: любой прогноз погоды становится полезным, если его надежность не менее 80%.





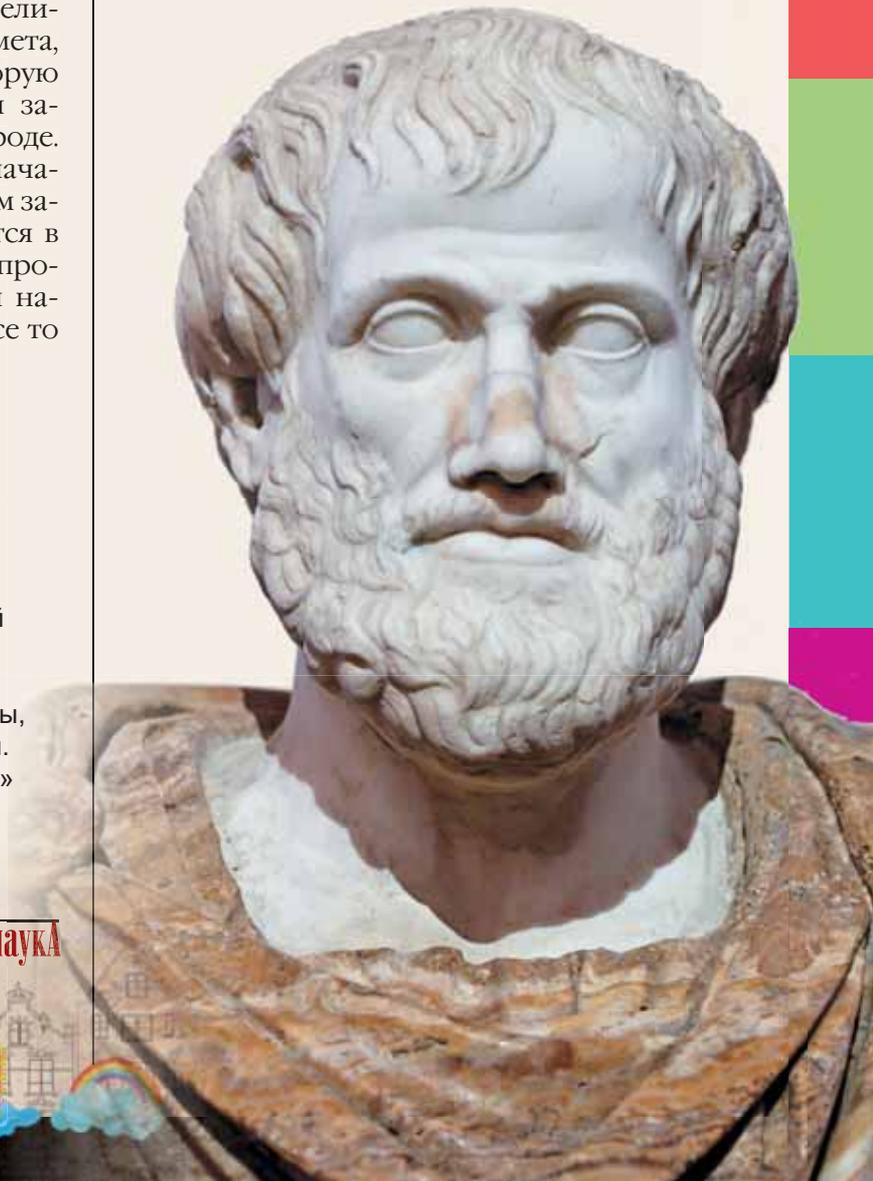
Однако вернемся на 2400 лет назад — в Древнюю Грецию IV в. до н. э. Греки первые обратили внимание на то, что характер погоды связан с направлением ветра. Великий мыслитель древности Аристотель обобщил эти наблюдения в трактате «Метеорологика». Он писал, называя ветры собственными именами: «Апарктий, Траский и Аргест, рассеивая плотные облака, приносят ясную погоду... Аргест и Эвр — сухие ветры, последний сух лишь вначале и влажен в конце... Нот, Зефир и Эвр горячи. Кайкий покрывает небо мощными облаками».

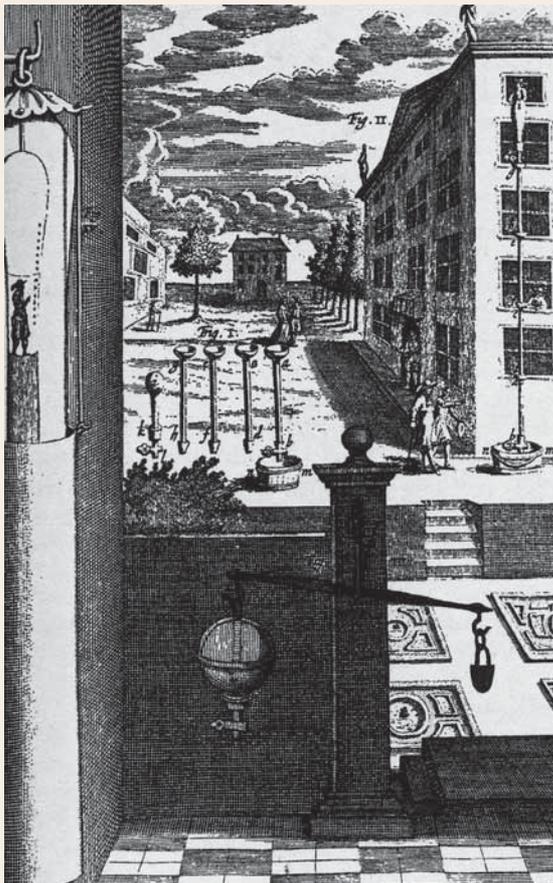
Вывод Аристотеля о связи характера погоды с направлением ветра — великое прозрение. Это не просто примета, а выявленная закономерность, которую можно развивать дальше, в чем и заключается научный подход к природе. С Аристотеля, можно считать, и началась метеорология. Подмеченные им закономерности хорошо укладываются в современную схему атмосферных процессов, а методы прогноза погоды нашего времени — не что иное, как все то

же выражение связей погоды с воздушными массами, приходящими с разных сторон горизонта, но связи эти имеют гораздо более сложный, математический вид.

Время европейского Средневековья пропало для метеорологии, да и для всей науки, почти даром — настолько велико было влияние религиозных догм. Церковь утвердила неизменную картину мира, которую пересматривать было нельзя. Среди авторитетов, ее создавших, оказался и Аристотель! А он, как мы знаем, правильно оценил влияние направления

Аристотель. Название науке о погоде дал именно он. В Древней Греции считалось, что все изменения на небе должны изучаться одной наукой. Аристотель подобрал ей название, исходя из греческого выражения *τα μετεωρα* (та метеора) — предметы в воздухе. К этим «предметам» ученый причислял дожди и кометы, град и метеоры, радуги и полярные сияния. А вот звезды, как неподвижные объекты, ученый в «Метеорологику» не включил. Со временем название «метеорология» осталось только за наукой, изучающей атмосферу.





ветра на погоду, подметил круговорот воды в природе, но, увы, заблуждался во многих других вопросах. Например, считал, что ветер — это «дыхание Земли», а воздух обладает свойством «абсолютной легкости», т. е. не имеет веса. При таком подходе представить себе атмосферу как самостоятельную оболочку земного шара было нельзя. Метеорологии пришлось дожидаться XVII в.

Только через две тысячи с лишним лет после Аристотеля люди убедились, что воздух имеет вес, и еще ка-

Водяной барометр Отто фон Герике. Справа, у стены здания, трубка с водяным столбом, слева — верхняя стеклянная часть барометра. На поверхности водяного столба плавает деревянный «водяной человечек», как назвал его сам Герике, он рукой указывает величину атмосферного давления.

кой! Установить это помогли опыты с изобретенным в начале 40-х гг. XVII в. водяным барометром. В переводе с древнегреческого название этого прибора так и читается — «измеритель тяжести» (*βαρος* — «тяжесть», *μετρέω* — «измеряю»). А работает механический барометр так: в сосуд с жидкостью вертикально помещают трубку, затем из трубки откачивают воздух с ее верхнего конца, и жидкость начинает подниматься вверх по трубке. Почему? Давали самые разные объяснения, но наконец пришли к единственно правильному выводу: это окружающий воздух давит своим весом на жидкость в сосуде и загоняет ее в пустоту трубки. Так было доказано, что воздух имеет вес, и сформировалось понятие об атмосфере, газовой оболочке Земли.

Теперь можно было измерить вес воздуха, вернее, его давление, т. е. вес, приходящийся на 1 кв. см поверхности Земли. Это проделал бургомистр германского города Магдебурга, а по совместительству и пылкий исследователь Отто фон Герике, построив водяной барометр. Вода в трубке такого барометра при откачивании воздуха из нее поднималась примерно до 10 м и дальше «идти не хотела». Герике сделал правильный вывод: вес 10-метрового водяного столба уравновешивается весом атмосферного воздуха.





Отсюда легко подсчитать давление воздуха: если 1000 куб. см воды умножить на вес одного ее кубического сантиметра — 1 г, то получится 1 кг на 1 кв. см — именно так давит воздух на поверхность любого предмета, находящегося на земле.

Вначале в эту чудовищную цифру не поверили, ведь человека должно просто расплющить! Но французский ученый Блез Паскаль в то же время открыл закон гидростатики, согласно которому давление в жидкостях и газах распределяется равномерно во всех направлениях. Значит, воздух давит на нас сверху, с боков и снизу с одинаковой силой и расплющить не может, а может только сжать со всех сторон. Вот под этим сжатием мы рождаемся и живем, а потому его не

замечаем. Резкое падение давления воздуха грозит человеку большими неприятностями. Например, при разгерметизации самолета на больших высотах, где давление воздуха значительно меньше приземного, человека может просто разорвать под действием его собственного внутреннего давления. В обычной же жизни метеозависимые люди тонко чувствуют даже сравнительно небольшие изменения атмосферного давления. Вы, наверное, слышали про ревматиков, предсказывающих изменения погоды по боли в суставах?

Итак, давление воздуха измерено, но Гёрике на этом не остановился. Он продолжил свои наблюдения и установил, что давление меняется со временем, меняется волнообразно, и вместе с тем изменяется погода: когда высота водяного столба уменьшается, начинаются дожди и сильные ветры, когда растет — устанавливается ясная солнечная погода. Так родился метод предсказания погоды по барометру.

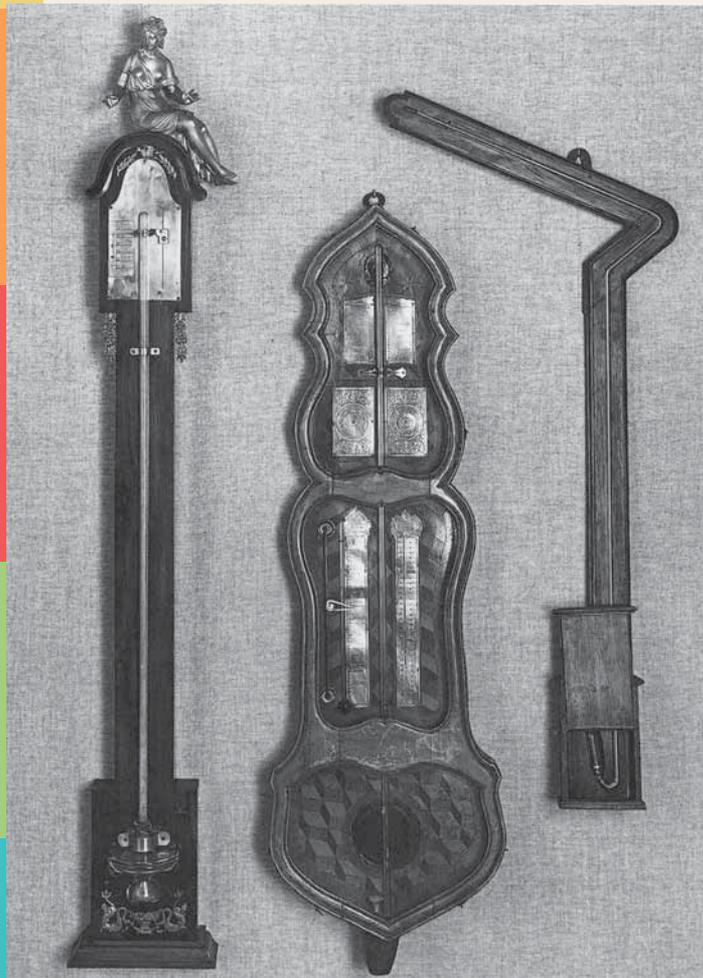
Это был огромный шаг вперед. Никто еще не знал, почему связаны между собой давление и погода, но впервые появился количественный и, главное, точно измеряемый признак погодных изменений. Правда, с водяным барометром работать было трудно, но тут пришел на помощь итальянец Эванджелиста

Эванджелиста Торричелли — выдающийся итальянский физик, математик, изобретатель, ученик Галилео Галилея. Первым доказал существование атмосферного давления, доказал возможность получения так называемой торричеллиевой пустоты, изобрел ртутный барометр.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Торричелли — в 1644 г. он изобрел компактный барометр, в котором вода была заменена в 10 раз более тяжелой ртутью. Такой прибор — около 1 м высотой — можно было переносить и помещать где угодно.

Барометр на долгие годы стал незаменимым прибором, особенно для моряков. И вот один из них задумал превратить прогнозы погоды по барометру

Старинные ртутные барометры. Их современные аналоги — главный прибор для измерения давления на метеостанциях. Атмосферное давление измеряется по высоте подъема ртути и выражается в миллиметрах высоты ртутного столба (мм рт. ст.). Поэтому, если давление уменьшается, говорят, что оно «падает» (столбик ртути уходит вниз), если давление увеличивается, то говорят, что оно «растет» (столбик ртути поднимается). Нормальное атмосферное давление на уровне моря, например в Петербурге, равно 760 мм рт. ст. В Москве, которая выше уровня моря в среднем на 156 м, нормальное давление — 745 мм рт. ст. Чем выше мы поднимаемся, тем ниже атмосферное давление.

в регулярно действующую службу штормовых оповещений. Это Роберт Фицрой, адмирал английского флота, человек незаурядной и трагической судьбы. Большую часть своей жизни он провел в море и хорошо знал, во что обходятся людям и кораблям капризы погоды. Поэтому в 1850-х гг. Фицрой на свой страх и риск налаживает производство барометров для рыбаков и составляет руководство, в котором объясняет правила прогноза погоды по изменениям давления. Более того, он добивается разрешения на организацию сети из 24 метеорологических станций, связанных телеграфом с Лондоном. Как только сеть заработала, он сразу же приступил к составлению прогнозов погоды на ближайшие несколько дней. Ему хотелось, чтобы как можно больше людей знали о надвигающихся штормах, и вот уже солидная английская газета «Таймс» 5 сентября 1860 г., впервые в истории чело-





Адмирал Роберт Фицрой. До увлечения метеорологией Фицрой был капитаном многих кораблей. В 1831—1836 гг. он совершил на судне «Бигль» кругосветное путешествие вместе с молодым Чарлзом Дарвином. Именно в результате этого плавания Дарвин разработал теорию «Происхождение видов» об эволюционном развитии живых организмов, от одноклеточных до человека.

вечества, помещает на своих страницах прогноз погоды на завтра.

Фицрой хорошо понимал ограниченность своей методики, но не чистый разум, а совесть и сердце руководили поступками уже стареющего адмирала. «Пусть наши предсказания не всегда верны, — говорил он, — но если сбудет-

ся лишь одно и спасется лишь один корабль, мы сохраним жизни наших моряков». Он измерял ценность прогнозов не фунтами стерлингов, а спасенными жизнями. Однако для обывателей этого было мало — давай абсолютно точные прогнозы, и все тут. Первые грозовые облака критики над головой Фицроя появились спустя два года после начала публикации прогнозов, нападки газет на него становились все более вызывающими. А он на это отвечал: разве нельзя



Роберт Фицрой в преклонном возрасте.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

понять, что «законы природы всегда истинны. Это неоспоримо. Просто мы еще не научились их правильно объяснять». Угнетало его и негативное отношение к прогнозам погоды со стороны официальных ученых: Лондонское королевское общество, самый центр английской науки, благоразумно оберегало свою репутацию.

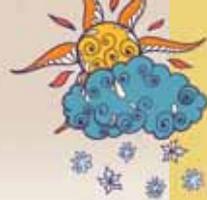
И вот случилось то, что иногда случается с подвижниками: психика Фицроя, надломившаяся под тяжестью многолетнего труда, газетных издевок и иронического недоверия, не выдержала... Вечером 29 апреля 1865 г. он поздно вернулся домой, долго стоял перед столом, на котором лежала развернутая газета, а утром после бессонной ночи поцеловал спящую дочь, закрыл за собой дверь ванной комнаты, взял бритву и...

Так была принесена первая жертва на алтарь метеорологической науки. Вскоре после трагической смерти Фицроя выпуск прогнозов погоды прекратился, поскольку, как выразились члены специальной комиссии, «еще нет научных оснований для ежедневных предсказаний». Но современники Фицроя хорошо помнят и другое — как жены простых рыбаков и на севере Шотландии, и на юге Англии, вспоминая о «своем адмирале», сокрушенно вздыхали: «Кто теперь позаботится о наших мужьях?» Это и есть самая справедливая оценка его благородного подвижничества.

А между тем девятью годами раньше закончилась Крымская война: Англия, Франция, Турция и даже маленькое Сардинское королевство напали на Россию, стараясь ограничить ее растущее

Карло Боссоли. Вход в гавань Балаклавы. 1856 г.





влияние на Балканском полуострове. В 1854 г. к полуострову Крым подошел огромный флот союзников, и началась знаменитая осада Севастополя, длившаяся 349 дней... Война — это всегда плохо, но, надо признать, она обязательно ведет за собой и научно-технический прогресс. Так случилось и на сей раз, причем прогресс проявился именно в метеорологии и прогнозах погоды.

Флот союзников большей частью встал на прикол в узкой и длинной Балаклавской бухте. Те же корабли, которым места в бухте не хватило, стояли на рейде перед ней. А надо сказать, что берега Крыма вблизи бухты сложены скалами, отвесно уходящими в море. И вот 14 ноября 1854 г. совершенно неожиданно на крымский берег обрушилась буря невиданной силы. Один английский капитан писал потом: «Всякая мысль о горизонтальной поверхности моря, вся правильность волнения, казалось, были утрачены в кипящей и клокочущей массе, которая с громом разбивалась о неподвижные скалы». Буря свирепствовала с восьми утра и до позднего вечера, скорость ветра подчас достигала 37 м/с. Противостоять такому ветру было невозможно, некоторые суда пытались выйти в открытое море, но их сразу же отбрасывало на скалы. Всего англо-французский флот у берегов Балаклавы, Херсонеса и Качи потерял в этот день не менее 50 судов, груженных продовольствием и боеприпасами.

Убытки составили более 2 млн фунтов стерлингов, и по тем временам это был такой ущерб, что на метеорологию впервые обратили внимание не только ученые, но и государственные деятели. Военный министр Франции Вальян



Балаклавская буря 14 ноября 1854 г. В центре — вход в Балаклавскую бухту, на возвышенности развалины генуэзской крепости. Обратите внимание на скалистые берега, о которые и разбился англо-французский флот. Несколько кораблей погибло также около Керчи.

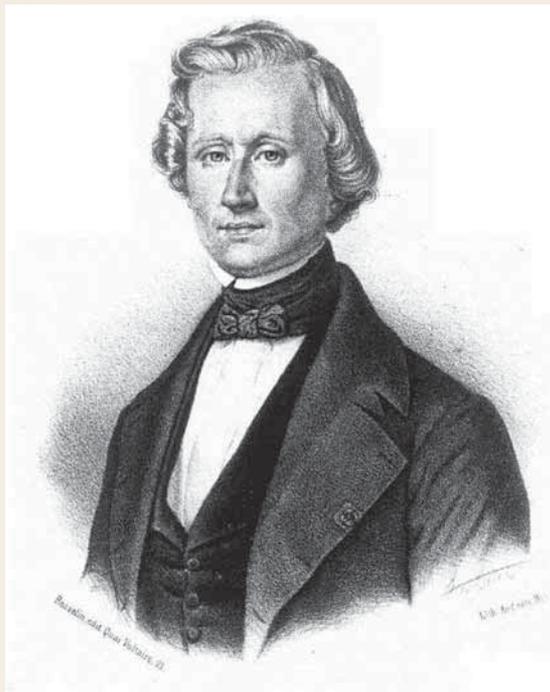
узнал, что за день до того, как буря разразилась над Балаклавой, она прошла над Средиземным морем, а значит, была не такой уж внезапной. Он обратился к известному астроному Леверье с просьбой изучить все обстоятельства возникновения Балаклавской бури.

Запросив метеорологов и астрономов всех стран Европы о погоде 12—16 ноября 1854 г., Леверье получил 250 ответов, на их основании проследил путь бури и понял, что пора создавать постоянную сеть метеорологических станций. Только она позволит быстро осуществлять сбор информации и оперативно оповещать моряков и население о надвигающейся непогоде. 16 февраля 1858 г. он представил проект такой сети станций императору Наполеону III и вскоре получил одоб-





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Урбен Жан Жозеф Леверье. Французский астроном, открывший в 1846 г. планету Нептун. Составил первую в истории синоптическую карту погоды.

Уже 19 февраля энергичный астроном с помощью главного директора почт и телеграфа собрал метеорологические сведения по Франции и вечером того же дня представил Французской академии карту погоды на 10 часов утра! Это была первая в истории оперативная карта погоды. Теперь такие карты мы называем синоптическими (от греч. *συνοψις* — «обозрение») — они позволяют одновременно обозреть погоду на больших пространствах. На карте Леверье можно было видеть области сильных ветров, дождей, опасных

атмосферных явлений, а две карты за разное время наблюдений давали представление о том, куда эти области движутся. Это была уже настоящая научная основа для развития методов прогноза погоды.

Русская наука тоже шла вперед. Первая синоптическая карта в России была составлена в 1872 г. в Главной физической обсерватории в Петербурге. Карта стала составной частью Ежедневного бюллетеня погоды, и с этого момента в России начала постоянно действовать Служба погоды. Организация Службы погоды, выпуск ежедневного бюллетеня и составление штормовых предупреждений — заслуга моряка по профессии и метеоролога по призванию М. А. Рыкачёва. Морское ведомство России, как и во многих других странах, первым

Старинная карта погоды Главной физической обсерватории в Петербурге. На ней хорошо видна область низкого давления на севере Великобритании и высокого давления над Уралом. Между этими главными областями давления преобладают ветры с юга, несущие тепло на всю европейскую Россию. Неплохая была погода в Санкт-Петербурге осенью 1894 г.





Рыкачёв Михаил Александрович — русский метеоролог, член Петербургской академии наук. С 1896 по 1913 г. — директор Главной физической обсерватории. По его инициативе были начаты наблюдения с аэростатов за формой и движением облаков. Изучал движение циклонов в Европе, принимал участие в составлении «Климатического атласа Российской империи». Вел большую работу по развитию сети метеостанций и службы погоды.

проявило интерес к метеорологии. Еще до организации Службы погоды в Петербурге установили сигнальную мачту, на которой при приближении шторма поднимали специальные конусы и цилиндры, а ночью — фонари. Синоптическая карта позволяла увидеть циклоны и антициклоны, которые управляют погодой, но рассчитать их движение на

будущее первые синоптики могли лишь приблизительно. Отсюда и невысокая точность прогнозов погоды в то время. Так, в 1877 г. правильный прогноз содержался в 62% всех оповещений о штормах, разосланных русской прогностической службой. Надо сказать, что такой процент был характерен в то время для всех стран, где метеорология активно развивалась. Чтобы научиться точно предсказывать погоду, одной синоптической карты было мало — предстояло узнать, как устроена атмосфера и какие физические законы управляют ее движениями. Задача эта оказалась очень сложной.

Что человек узнал о строении и жизни атмосферы, мы увидим в этой книге.

Бывшее здание Главной физической обсерватории в Петербурге. Обсерватория была основана в 1849 г., это первое метеорологическое учреждение в России. В ее обязанности входили организация сети метеорологических станций по всей стране, выпуск прогнозов погоды и проведение научных исследований в области метеорологии. Здание это находится на 23-й линии Васильевского острова, рядом с Горным институтом, в нем по-прежнему работает метеорологическая организация — Северо-Западное управление российской Гидрометслужбы.





Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

## СЧАСТЛИВАЯ ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Одинокими ли мы во Вселенной? Такой вопрос волнует мыслящую часть человечества с тех пор, как стала вырисовываться картина Вселенной, заполненной массой звезд, а стало быть, и планетными системами. Идею множественности обитаемых миров впервые четко высказал итальянский монах, философ и поэт Джордано Бруно. Хотя на пороге стоял уже XVII век, время рождения всех классических наук, Бруно в 1600 г. за такие высказывания был сожжен на костре по приговору римского суда. Но семена были брошены в землю, и с тех пор не прекращаются поиски внеземных цивилизаций... Много ли мы преуспели в этих поисках? Надо со-

знаться, что нет, несмотря на появление различной уникальной техники, позволяющей проникнуть в тайны космоса. Попробуем разобраться, почему мы пока никого не нашли.

Сначала ответим на вопрос: а какими мы представляем себе инопланетян? Со времен первых фантастических рассказов и до нашего времени, когда якобы находят остатки космических кораблей пришельцев, инопланетные жители представляются нам чаще всего весьма похожими на человека! У них есть голова, руки-ноги, туловище, подозрительно похожее на наше, вот только почему-то у всех огромные глаза, а вместо ушей какие-то трубочки. О чем это говорит?



Прежде всего, о том, что мы представляем себе разумную жизнь только в белковой, водно-углеродной форме ее существования. Ну а во-вторых, о том, что абсолютное большинство из нас свято верит: человек — венец творения.

А могут ли вообще быть формы жизни, принципиально отличные от нашей? Энтузиасты поиска внеземных цивилизаций утверждают, что могут, — правда, доказательств не приводят. По их мнению, разные формы живых организмов — лавобы, термофаги, плазмоиды, водоробы, радиобы — способны существовать при экстремально высоких или низких температурах, в условиях разреженной плазмы и т. п. Но давайте не будем предаваться наукообразным фантазиям, а лучше вспомним заветы отцов-основателей науки: верить можно только фактам, полученным опытным путем. Поэтому попробуем выяснить, какие физические условия необходимы для возникновения живых существ и развития у них разума, на основе достоверных знаний о белковой форме жизни.

Не станем ходить далеко, а рассмотрим ближайшее окружение Земли — планеты Солнечной системы.

Планеты земной группы (слева направо): Меркурий, Венера, Земля, Марс.

Плотность вещества планет примерно одинакова, от 4,0 до 5,5 г на куб. см, но условия на поверхности совершенно разные. На Меркурии дневная температура равна 350 °С, а ночная опускается до -170 °С, атмосферы практически нет. На Венере атмосфера состоит из углекислого газа и постоянно висит плотный покров облаков из серной кислоты. Из-за этого температура поверхности Венеры поднимается до 462 °С. На Марсе средняя температура поверхности равна -53 °С, атмосфера, состоящая из углекислого газа, очень разреженная. А вот на Земле средняя за год температура поверхности — около 15 °С, и вся планета окружена уникальной кислородно-азотной атмосферой. Как говорится, почувствуйте разницу! В пользу Земли.

Они подразделяются на две группы: планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) и планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс). Планеты-гиганты состоят из жидкости и газа, их плотность в среднем всего 1,4 г/см<sup>3</sup>, на таких планетах нетрудно





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

утонуть. А вот планеты земной группы средней плотностью около  $5 \text{ г/см}^3$  обладают твердой поверхностью, на которой и может развиваться жизнь. Взглянем на них пристальным оком и обратим внимание прежде всего на то, есть ли на них вода.

Даже по внешнему виду планет земной группы можно сказать, что Меркурий и Марс — планеты сухие, там воды в жидком виде быть не может: на Меркурии из-за очень высоких температур, на Марсе — из-за низких. Венера и Земля — планеты-близнецы по астрономическим параметрам — окутаны облаками, но облака эти совсем разные. Тяжелая атмосфера Венеры состоит из углекислого газа, а плотные облака в ней — из

частиц серной кислоты. Непрозрачные облака создают так называемый парниковый эффект, т. е., как одеяло, не выпускают накопленное планетой солнечное тепло обратно в космос, поэтому температура на ее поверхности больше  $450^\circ\text{C}$ . Ни о какой воде здесь и речи быть не может. Вот Земля — дело другое. Во-первых, ее поверхность на 71% покрыта водой океанов и морей, во-вторых, облачный покров планеты тоже водяной. Значит, из всех планет Солнечной системы только на Земле могли сложиться условия для возникновения белковой жизни, построенной на соединениях воды с углеродом. Атмосфера также дала возможность этой жизни развиваться, защищая ее от губительных жестких из-

Вулкан Бромо в Индонезии. Примерно так выглядела Земля 3,5 млрд лет тому назад, когда расплавленные породы начали извергаться на поверхность. Судить об их составе мы можем по современным вулканическим извержениям. Так, продукты дегазации вулкана Килауэа (он находится на Гавайских островах в Тихом океане и является одним из самых активных на земном шаре вулканов) состоят из 71% водяного пара, 13% углекислого газа, 5% азота, 9% диоксида серы. Эти цифры считаются достаточно показательными не только для Земли, но и для других планет земной группы. Поэтому вторичные атмосферы Венеры, Земли и Марса должны были состоять в основном из углекислого газа и водяного пара. На Земле благодаря ее температурным условиям водяной пар превращался в облака, проливавшие обильные дожди — так возник Мировой океан и воды суши.



## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



лучений космоса. Без атмосферы, даже при наличии воды, жизнь на Земле вряд ли состоялась бы.

А ведь начиналось для всех планет все когда-то одинаково. Примерно 4,5 млрд лет назад из газопылевого облака, окружавшего Солнце, сформировались все планеты Солнечной системы. Тяжелые химические элементы образовали их ядра, а легкие — водород и гелий — стали первичными атмосферами. Удержать легкие газы первичной атмосферы смогли только планеты-гиганты за счет огромной силы их притяжения. Планеты же земной группы водородно-гелиевые атмосферы быстро растеряли. Одно-

временно с этим твердые недра планет разогревались за счет гравитационного сжатия и распада радиоактивных элементов — урана и тория. Примерно через 1 млрд лет от момента образования планет земной группы температура в их центрах достигла 1000—1500 °С, что, конечно, привело к расплавлению недр. Начался период мощного вулканизма, выброса внутренних веществ на поверхность планет.

Благодаря этому сформировались вторичные атмосферы планет земной группы, состоявшие из углекислого газа и водяного пара. Вроде бы все опять одинаково, но только на Земле темпера-

Вулкан Бромо действует.





Буйные краски горячих источников и гейзеров Йеллоустона — результат жизнедеятельности цианобактерий. Многие ученые считают последних родоначальниками первой биосферы Земли, ответственными за формирование современного состава атмосферы.



Один из видов цианобактерий.

турные условия позволили образоваться океану, и это оказалось решающим преимуществом Земли. Океан — прекрасный поглотитель углекислого газа, он постепенно почти полностью «выкачал» диоксид углерода из атмосферы. (Мощные геологические пласты известняка и мела, которые мы находим повсеместно

на Земле, — это отложения карбонатов на дне древних морей, т. е. углекислого газа, соединившегося с кальцием.) И вот здесь пути Земли и остальных планет земной группы решительно расходятся. На Венере и Марсе атмосферы до сих пор углекислые, разве что по мощности они разные: на Венере давление ат-





мосферы составляет 70 тыс. мм рт. ст., а на Марсе — всего 7,5 мм. В земной же атмосфере стал преобладать азот с небольшой примесью углекислого газа. Азот сохранился потому, что он крайне неохотно вступает в химические реакции, это почти инертный газ. Он все время накапливался в атмосфере, потому что скорость его поглощения океанами и почвой была очень мала. Так на Земле родилась третья по счету атмосфера — азотно-углеродная.

Но на этом Земля не успокоилась: благодаря океану на ней появилась жизнь, а вместе с ней и четвертая, кислородно-азотная атмосфера, в которой мы живем по сей день. Около 2 млрд лет назад в верхних слоях океанской толщи появились простейшие одноклеточные — органеллы, предки нынеш-

них синезеленых водорослей, которые стали снабжать атмосферу кислородом. Так было положено начало самому замечательному на Земле биохимическому процессу — фотосинтезу. В результате этого процесса углерод под действием солнечных лучей соединяется с водой и образует органические вещества. Побочным результатом фотосинтеза является кислород. Особенно интенсивно фотосинтетический кислород стал поступать в атмосферу около 600 млн лет назад, когда на голые палеозойские скалы выбрались из моря первые растения.

Процесс наращивания кислорода в атмосфере происходил примерно так: 600 млн лет назад углекислоты в атмосфере было в два раза больше, чем сейчас, а кислорода — 70% от современного уровня; 400 млн лет назад углекислый газ

Земля 300—360 млн лет назад. Пейзаж каменноугольного периода. Господство папоротников, огромных древовидных хвощей, плаунов и гигантских насекомых.

Растительность — единственный источник кислорода на Земле. В результате фотосинтеза углекислый газ и вода под действием солнечного света превращаются в органические вещества, наращивая биомассу растений, а они, в свою очередь, выделяют кислород. Так же растения Земли «работают» и по сей день, выбрасывая в атмосферу 3 тыс. т кислорода в секунду.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

все еще превышал современное содержание в 1,2 раза, кислород составлял 80% от наблюдаемого сейчас объема. Наконец, 200 млн лет назад установилось соотношение газов, характерное для нынешней атмосферы Земли, — 21% кислорода, 78% азота, 1% остальных газов.

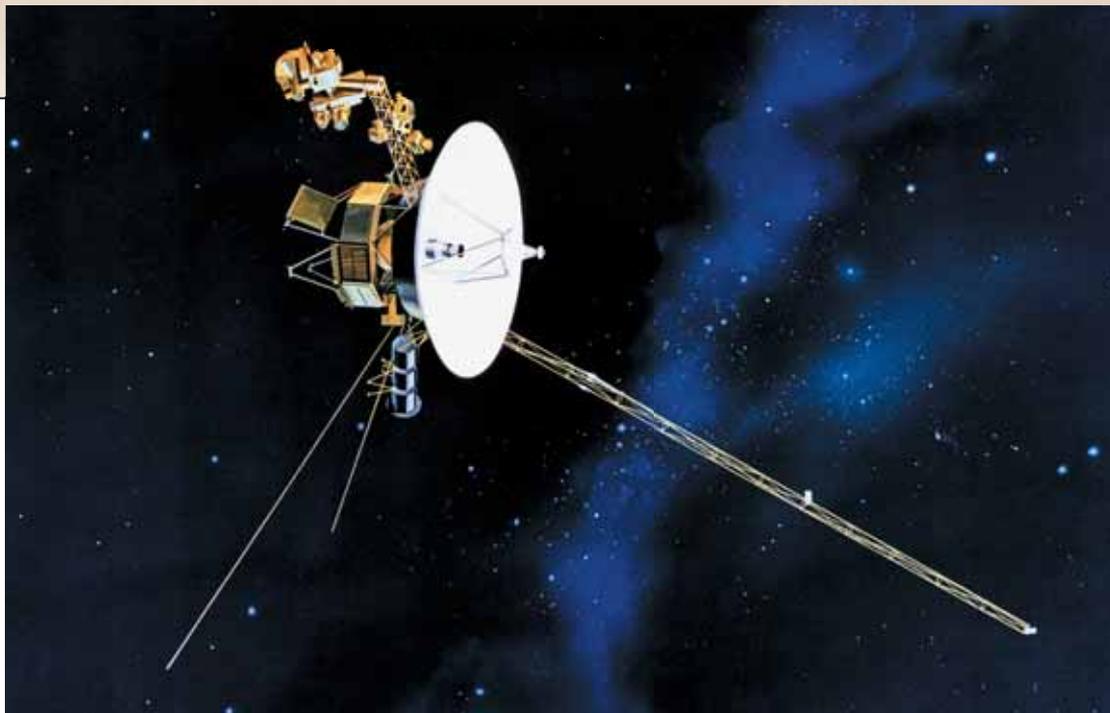
Ничего подобного на остальных планетах Солнечной системы нет. Климатологи доказали, что если бы расстояние от Земли до Солнца было всего на 5% меньше современного, она не избежала бы участи Венеры и имела бы тяжелую углекислую атмосферу и очень высокую температуру поверхности. А будь это расстояние лишь на 1% больше, возникли бы условия, близкие к марсианским. Таким образом, расположение Земли относительно Солнца идеально или почти идеально для возникновения и развития жизни.

Ясно, что на других планетах, окружающих Солнце, развитой белковой формы жизни, других цивилизаций быть не может. Земля — самая счастливая планета Солнечной системы, жизнь на ней уникальна!

Ну а все-таки, если очень далеко залезть в космос, может, найдем кого-нибудь? Советский астроном-теоретик Иосиф Шкловский оценил число звезд в нашей Галактике, у которых могут быть обитаемые планеты, в 9 млрд. Неплохо! Только вот достичь их при современных и обозримых в будущем возможностях нашей техники абсолютно нереально. Радиоволны бегут намного быстрее наших космических устройств, но тем не менее никаких сигналов, которые могли бы послать разумные существа, земляне пока не получали.

Марсианский пейзаж. Безжизненная каменистая пустыня. Температура крайне разреженной атмосферы — от  $-90$  ночью до  $+30$  °C днем (на экваторе до  $+20$  °C).





Американский космический зонд «Voyager» (англ. «путешественник»). Два таких аппарата были запущены в августе 1977 г. с тем, чтобы осуществить съемку планет-гигантов и уйти за пределы Солнечной системы. Один из них достиг Юпитера в 1979 г., Сатурна — в 1980 г., Урана — в 1986 г., Нептуна — в 1989 г. В 2013 г. один из аппаратов вышел за пределы Солнечной системы, преодолев 18 млрд км. На это понадобилось 36 лет! Таковы масштабы космоса (и разум) и, увы, таковы наши возможности. Ближай-

шая обитаемая планета находится, по мнению ученых, на расстоянии 12 световых лет от нас (это система Тау Кита, которую воспел Владимир Высоцкий — «Здесь нет атмосферы, здесь душно, но таукитяне радушны!»). Подсчитывать время ее достижения существующими земными средствами бесполезно. Судите сами: если 18 минут светового расстояния до пределов Солнечной системы мы преодолели за 36 лет, то сколько лететь до Тау Кита? Получается, что в ближайшем космосе мы одни!

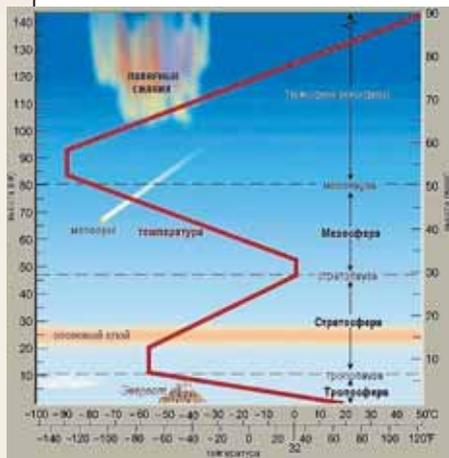
Вот и ответ на вопрос, где же искать внеземную жизнь (и разум). Да, на планетах очень похожих на Землю, имеющих много воды и кислородную атмосферу. Приобрести это богатство планетам нелегко, необходимо строгое соблюдение определенных астрономических условий: тип центральной звезды, расстоя-

ние планеты от нее, плотность вещества планеты. Если развитый интеллект и есть во Вселенной, то очень далеко от нас, и мы нес скоро узнаем о его существовании. А пока в космосе мы по факту одни. Тем больше наша ответственность за жизнь на Земле и ее уникальную атмосферу, которая эту жизнь создала и охраняет.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Строение атмосферы.

Существуют две поверхности нагрева атмосферы: первая — это Земля, поглощающая солнечные лучи и отдающая тепло нижнему ее слою, вторая поверхность находится на высоте 45—50 км, это уровень максимального поглощения ультрафиолетовой радиации солнцем озоном, она обогрывает атмосферу от 20 до 80 км. Эти поверхности нагрева формируют температурный профиль атмосферы и ее слои. В самом нижнем слое — тропосфере — температура падает с высотой, по мере удаления от земли. Далее идет стратосфера, где температура воздуха с высотой растет, по мере приближения к озоновой поверхности нагрева. Выше, в мезосфере, температура опять падает с высотой. А еще выше, в термосфере, температура стремительно растет. Однако почувствовать это «тепло» человек не может: из-за очень малой плотности воздуха здесь обычные термометры не пригодны, температура определяется условно, по скорости движения молекул.

Итак, в результате длительной эволюции вокруг Земли образовалась уникальная кислородно-азотная оболочка. Как же выглядит наша атмосфера и до какой высоты простирается? Хотелось бы назвать определенное число километров, чтобы представить пространственные масштабы атмосферы, но это

невозможно — атмосфера не имеет четко выраженной верхней границы. С высотой плотность воздуха постепенно уменьшается и, наконец, где-то на 2000—2500 км от поверхности земли становится равной плотности межпланетной среды (1 молекула в  $1 \text{ см}^3$ ). Атмосфера незаметно переходит в кос-

Эти снимки из космоса помогут представить, какой тонкий слой воздуха окутывает Землю. Светящаяся полоса — это полярное сияние, оно развивается в атмосфере на уровне примерно 120 км. Значит, тропосфера толщиной 10 км, где мы живем и формируется вся наша погода, на снимках вообще неразличима.





мос. Но мы с вами условимся считать, что уровень верхней границы атмосферы, вернее, того ее слоя, который интересен нам с точки зрения прогнозов погоды, находится на высоте 80—100 км. Ниже действуют законы гидродинамики, т. е. законы, определяющие движение электрически нейтральных газов, а выше — законы электродинамики, где движение частиц атмосферы подчиняется их электрическому заряду и магнитному полю Земли.

Погода, которая оказывает влияние на природу, на жизнь и деятель-

ность людей, формируется в самом нижнем слое атмосферы — в тропосфере. Здесь сосредоточены практически все запасы атмосферной влаги, здесь образуются облака, разные по свойствам воздушные массы и разделяющие их атмосферные фронты. Их непрерывное движение и приводит к изменениям погоды. Однако и верхние слои атмосферы метеорологам интересны, там циркуляция воздуха во многом не похожа на тропосферную и может оказывать на погоду свое влияние.



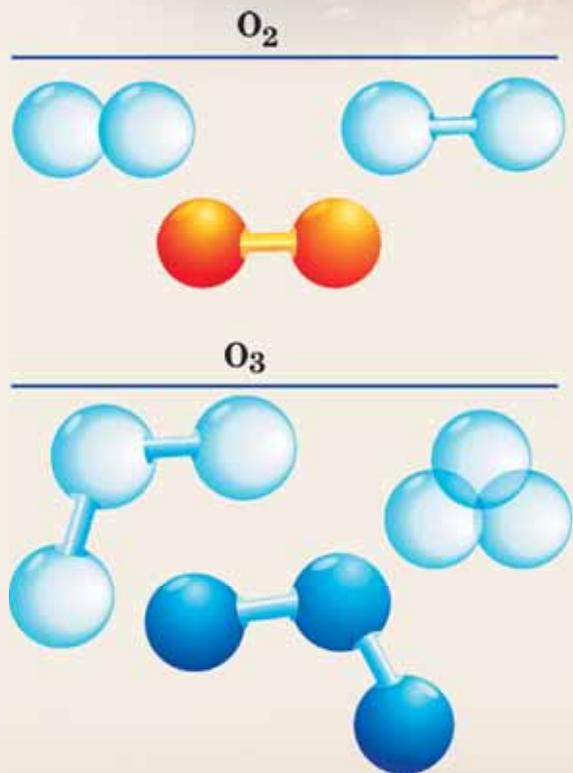


О том, как движется атмосфера, почему погода все время меняется и как предвидеть ее изменения, мы еще поговорим, а сейчас обратимся к некоторым интересным процессам, протекающим в атмосфере и очень важным для всего человечества. А для начала подслушаем один разговор между сельскими жителями:

*Дождь и слякоть, непогода,  
Целый день все льет и льет.  
Ох ты, русская природа,  
Все в тебе наоборот!  
Ты бы, Ваня, помолчал бы,  
Не стыдился б на миру,  
Коль читал бы, то бы знал бы  
Про озонную дыру.  
Просто мы не знаем меру,  
И космический полет  
Просверлил озоносферу —  
Вот через дыру и льет!*

Примерно так многие представляют себе влияние человека на погоду. Конечно, это из области фантазий. Но ведь не зря же сельский знаток говорит про какую-то озоновую дыру. Не он ее выдумал, про нее в газетах пишут, по телевизору показывают... Почему дыре этой уделяется столько внимания? Давайте разберемся.

Кроме азота и кислорода в атмосфере в небольших количествах содержится много других газов, и среди них, пожалуй, самым важным для нашей цивилизации является озон. Если кислород  $O_2$  позволил родиться и развиваться человечеству, то его трехатомная разновидность — озон  $O_3$  защищает нас от губительных космических воздействий. В электромагнитном излучении



Солнца содержатся не только видимые и тепловые инфракрасные лучи, но и коротковолновая, как говорят, жесткая радиация. Эта радиация — злейший враг всего живого. Генетический аппарат организмов, биохимические вещества — белки, нуклеиновые кислоты, флавины, порфирины и многие другие — быстро разрушаются жесткой радиацией, и наша жизнь была бы невозможна без надежного экрана, не допускающего такую радиацию до поверхности Земли.

Роль радиационного экрана как раз и выполняет озон. Его в атмосфере очень мало: если собрать весь озон, то он покроет планету слоем толщиной всего 0,3—0,5 см. Однако его вполне достаточно, чтобы предохранить все живое от губительного жесткого излучения. Самые жесткие лучи, такие как рентгеновские, поглощаются в термосфере, остается ультрафиолетовая радиация (УФР), тоже опасная. Но на высоте 30—50 км озон поглощает всю УФР с длиной электро-

магнитной волны меньше 0,315 микрометров (мкм), превращая ее в тепло. Дальше помимо видимого и инфракрасного проникает только «мягкое» ультрафиолетовое излучение (длина волны 0,315—0,400 мкм), благодаря которому мы загораем. Так что наличие озона в атмосфере — еще одно необходимое условие зарождения жизни на Земле, кроме тех, о которых мы говорили раньше. Теперь видите, как случайна наша жизнь: для ее возникновения и развития требовалось одновременное и потому чрезвычайно редкое сочетание нескольких независимых событий в геологической и астрономической истории, эволюции Солнца и атмосферы.

Сохранение озонового слоя в атмосфере — одна из важнейших задач человечества. С начала XX в. ученые наблюдают за содержанием озона, и вот с конца 1970-х гг. стало отмечаться истощение озонового слоя, стали появляться пресловутые озоновые дыры, о которых



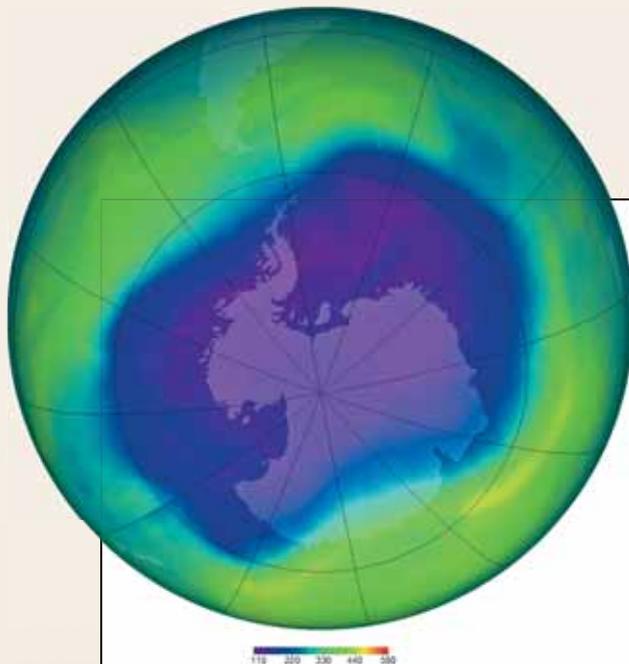


говорил сельский мыслитель. Что случилось? Здесь мнения ученых расходятся. Одни считают, что причиной тому стало проникновение в верхние слои стратосферы химических веществ, разрушающих озон, — хлорфторуглеродов. Они используются во многих отраслях промышленности и в быту (аэрозольные баллончики), молекулы этих веществ содержат хлор или бром. Выпущенные человеком, они достигают стратосферы и здесь теряют атом хлора. Агрессивный хлор начинает разбивать одну за другой молекулы озона, превращая его в обычный кислород, а ведь последний не может противостоять жесткой УФР!

Другие ученые полагают, что колебания концентрации озона — естественный климатический процесс, который

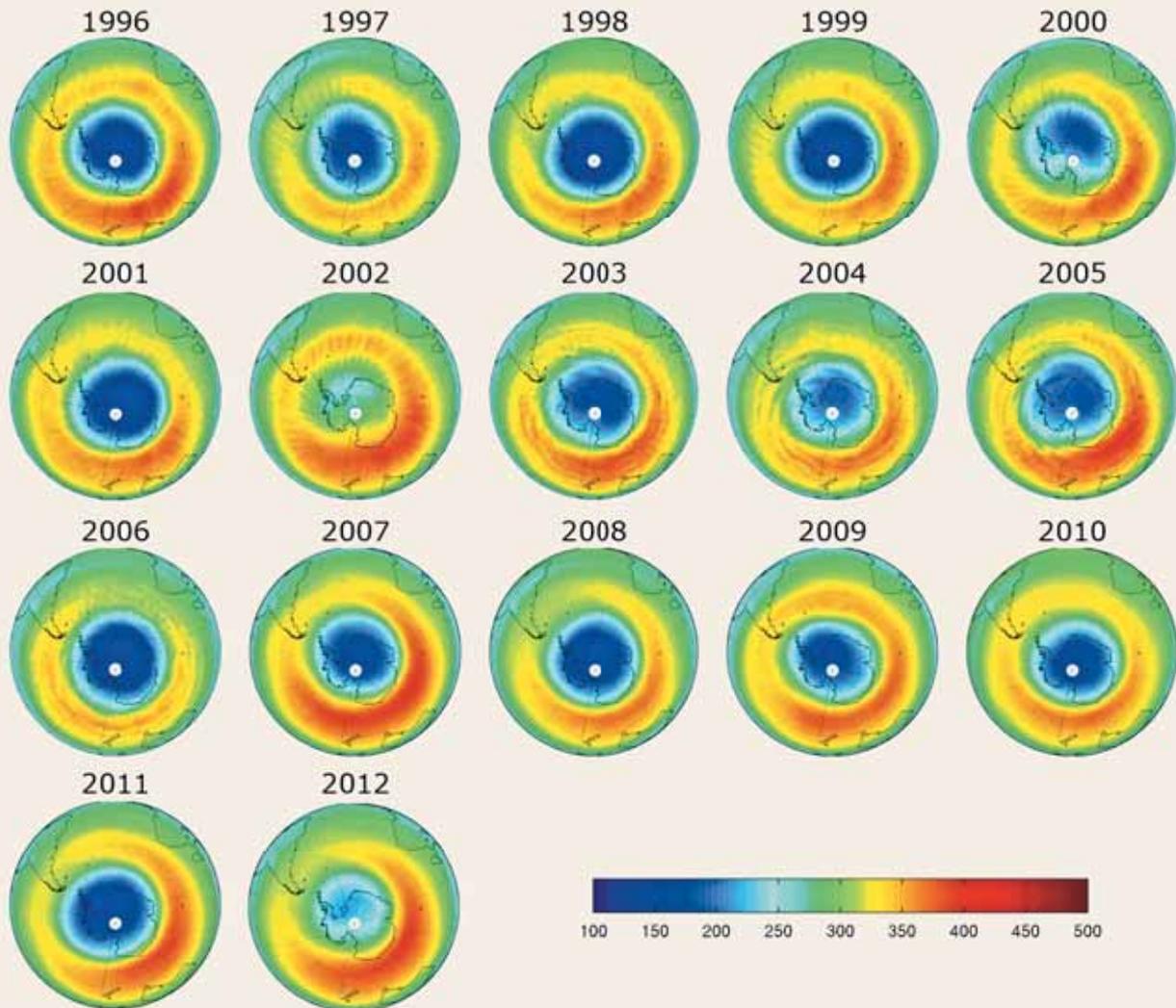
периодически повторяется. На всякий случай 16 сентября 1987 г. был принят всемирный Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Страны, подписавшие его, обязались всемерно сократить выброс в атмосферу хлорфторуглеродов, в том числе заменить в аэрозольных баллончиках фреон на другие газы, например азот. Для холодильников, увы, сделать этого пока не получается.

Насколько опасны для нас озоновые дыры? Приведу один пример. У меня есть хороший знакомый, полярник, восемь раз (!) зимовавший в Антарктиде, над которой и наблюдаются озоновые дыры. В том, что он по-прежнему здоров, никаких сомнений не возникает. В чем же дело? А в том, что озоновая дыра есть уменьшение общего количества озона в атмосфере, главным образом на высоте 20—22 км, в слое его наибольшей концентрации. А вот на высоте 30—50 км, где и удерживается вредная УФР, количество озона находится в так



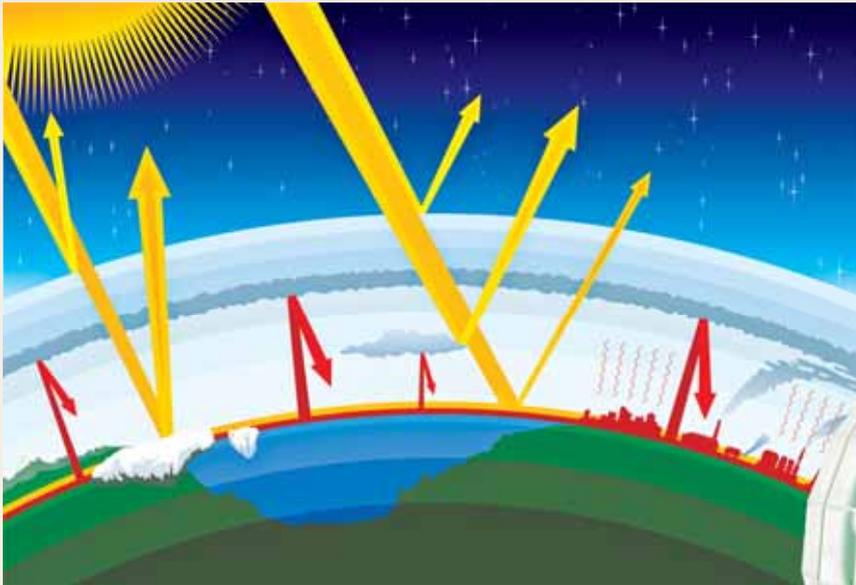
Озоновая «дыра» над Антарктикой. Общее количество озона в атмосфере измеряется с помощью специальных единиц Добсона (шкала внизу). Видно, что в умеренных широтах Южного полушария концентрация озона находится в пределах 300—400 ед. (желтый и зеленый цвет), т. е. близка к норме. А вот над Антарктикой она понижена до 200—250 ед., это и называется озоновой дырой. Такое явление возникает главным образом над полюсами Земли и до сих пор не получило четкого объяснения — естественный это процесс или вызванный деятельностью человека.





Озоновая дыра над Антарктидой диаметром свыше 1000 км впервые была обнаружена в 1985 г. группой британских ученых. Каждый август она появлялась, а в декабре — январе прекращала свое существование. Над Арктикой тоже формировалась дыра, но меньших размеров. Сейчас доказано, что на Земле существует множество озоновых дыр. Но наиболее крупная расположена над Антарктидой. Здесь вы видите, как менялся размер этой озоновой дыры в последние годы.





Пробовали вы заходить жарким днем в садовую теплицу? Еще жарче, чем снаружи, и очень душно. Примерно так же действуют парниковые газы на атмосферу Земли.



Парниковый эффект. На рисунке изображены потоки электромагнитной радиации вблизи Земли. Поступающая от Солнца радиация усваивается Землей и частично возвращается в космос. Но в космос уходит не вся тепловая радиация, часть ее возвращают обратно на Землю парниковые газы.

называемом лучистом равновесии, т. е. довольно постоянно. В этом нам с вами повезло.

Вторая опасность для человечества, также связанная с атмосферой, заключается в так называемом парниковом эффекте. Дело в том, что солнечная радиация, «очищенная» от вредных жестких лучей, свободно достигает земной поверхности и поглощается ею. Если бы Земля только накапливала солнечное тепло, то перегрелась бы. Но она часть его тратит на обогрев атмосферы, а часть испускает в мировое пространство в виде инфракрасного излучения. Так поддерживаются баланс тепла и относительно постоянная температура планеты.

При этом очень важно, сколько тепла Земля отдает мировому пространству путем излучения тепловой инфракрасной радиации. А это зависит от содержания в атмосфере так называемых парниковых газов, которые тепловую радиацию могут и не пропустить, и тогда Земля начнет перегреваться. Сотни миллионов лет баланс тепла на Земле соблюдался, и температура в целом по планете была в пределах 12—14 °С. Но в XX в. вдруг началось глобальное потепление климата, и за сто лет температура увеличилась на 0,9 °С. Вроде бы немного. Но если так будет продолжаться дальше, то перегрев Земле обеспечен. В чем же дело?



## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



Здесь, как и в случае с озоном, мнения ученых разделяются. Одни считают, что это естественный процесс и за эпохой потепления климата наступит его похолодание. Так уже бывало. Все мы знаем, что на большей части территории Гренландии царят снег и лед. Однако в VIII—XI вв., в эпоху викингов, климат был теплее, и остров был покрыт растительностью, по крайней мере, его прибрежная зона. Скандинавские мореплаватели, открывшие эту землю, потому и дали ей такое название: Гренландия на их языке — Зеленая страна. Потом наступил так называемый малый ледниковый период, длившийся с XV по XVIII в., когда температура на Земле вновь упала. Но процессы смены климатов длились столетиями, а сейчас потепление уж больно быстрое по историческим меркам. Поэтому большинство мирового научного сообщества решило, что это мы с вами виноваты: бурное развитие промышленности и сжигание большого количества топлива привели к усиленному выбросу в атмосферу углекислого газа  $\text{CO}_2$ , а он как раз

и является главным парниковым газом! Именно эта антропогенная углекислота и задерживает у поверхности Земли избыточное солнечное тепло, утепляя наш климат. Так это или нет, уверенно доказать трудно, но, как и в случае с озоном, человечество предприняло защитные меры. В 1997 г. в Японии был принят всемирный Киотский протокол по сокращению выброса промышленных парниковых газов. К нему присоединились 192 страны, хотя такая развитая страна, как США, практически проигнорировала его, а Канада недавно вообще вышла из протокола. Скоро предстоит возобновление действия Киотского протокола. Посмотрим, как отреагируют на это ведущие промышленные державы мира. Но, как бы там ни было, хорошо, что люди вообще задумываются о будущем Земли и о сохранении главной нашей защитницы — атмосферы — в ее первоизданном виде.

А теперь проследуем дальше и посмотрим, как наша воздушная среда движется и почему меняется погода.

Во времена викингов значительная часть Гренландии была свободна ото льда.





## ПОГОДА БОЛЬШАЯ, СРЕДНЯЯ И МАЛАЯ

Наше Солнце — единственный источник тепла и всех известных форм движения материи на Земле. Внутренние области Солнца недоступны наблюдениям, но ученым на основании законов ядерной физики удалось доказать, что они представляют собой гигантский термоядерный котел. Основная химическая реакция в недрах Солнца — это переработка водорода в гелий путем объединения (синтеза) ядер водорода. В процессе такого синтеза часть энергии атомных ядер высвобождается и уходит в космическое пространство в виде электромагнитного излучения. Работа солнечного «реактора» отличается большой устойчивостью: за сто лет наблюдений не было замечено никаких серьезных изменений мощности потока излучения. Правда, известно и то, что существует цикличность в излучении Солнца, равная примерно 11 годам, — солнечная активность. В годы ее максимума поток радиации может увеличиваться на 1—2%. Но такие отклонения нас пока не должны волновать — уж слишком они малы.

Устойчивость потока солнечного излучения позволила вычислить его нормальную мощность, она называется солнечной постоянной. Это количество энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы. По последним данным, она составляет 1,36 киловатта на каждый квадратный метр поверхности







## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

Земли ( $\text{кВт}/\text{м}^2$ ). Много это или мало? Судите сами: примерно такое же количество энергии исходит от 50 лампочек по 60 Вт, освещающих поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ . Сколько же из этого огромного количества реально достигает Земли, пройдя через ее атмосферу? Попробуем прикинуть.

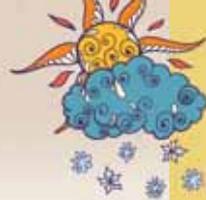
Если принять солнечную постоянную за 100%, то атмосферные газы, облака и земная поверхность отражают обратно в космос примерно 36%, озон поглощает 13%, таким образом, до поверхности Земли доходит 51% солнечной радиации, или  $0,69 \text{ кВт}/\text{м}^2$ . Это значение называется метеорологической солнечной постоянной. Вся эта энергия поглоща-

ется земной поверхностью: частично она расходуется на поддержание жизни, а остальное отдается атмосфере в виде тепловых потоков.

Как же поверхность земли обогревает атмосферу? Двумя способами. Первый зависит от разности температур земной поверхности и воздуха: атмосфера просто нагревается от земли, как от батареи парового отопления, такой теплообмен называется турбулентным или явным. Второй вид теплообмена связан с испарением влаги с поверхности земли. При испарении воды расходуется огромное количество тепловой энергии. Попробуйте вскипятить и полностью испарить двухлитровый

Кучево-дождевое облако над океаном. При его образовании все тепло, затраченное на испарение воды, т. е. отнятое у океана, поступает в атмосферу. Такой вид «отопления» атмосферы самый мощный: примерно 70% всего тепла, содержащегося в тропосфере, обязаны своим происхождением испарению влаги с океанов, морей и поверхности суши.





чайник воды. Вы истратите примерно 15% электроэнергии, которую потребляет двухкомнатная квартира за целый месяц. Немало! Так вот, испарившаяся с земли и океанов вода в виде водяного пара поступает в атмосферу, а там вновь превращается в воду — конденсируется в облака. При этом атмосфере отдается все то тепло, которое ушло с земли при испарении воды. Такой вид теплообмена — за счет испарения — называется скрытым (в самом деле, пока облака не образовались, он и не чувствуется).

Подсчитано, что поток скрытого тепла в атмосферу  $Q_E$  в среднем за год превышает поток явного тепла  $Q_P$  в четыре раза! Поскольку главный «испаритель» воды в атмосферу — это Мировой океан, значит, он и является основным «отопителем» атмосферы. Однако атмосфера не только получает тепло, но

и отдает его: как и всякое физическое тело с температурой выше абсолютного нуля ( $-273\text{ }^\circ\text{C}$ ), воздух излучает тепловую длинноволновую радиацию, и она уходит в космос. Возникает еще один поток тепла  $Q_R$  и он всегда отрицательный.

Соединим все три потока вместе и получим очень важное для нас уравнение теплового баланса атмосферы:

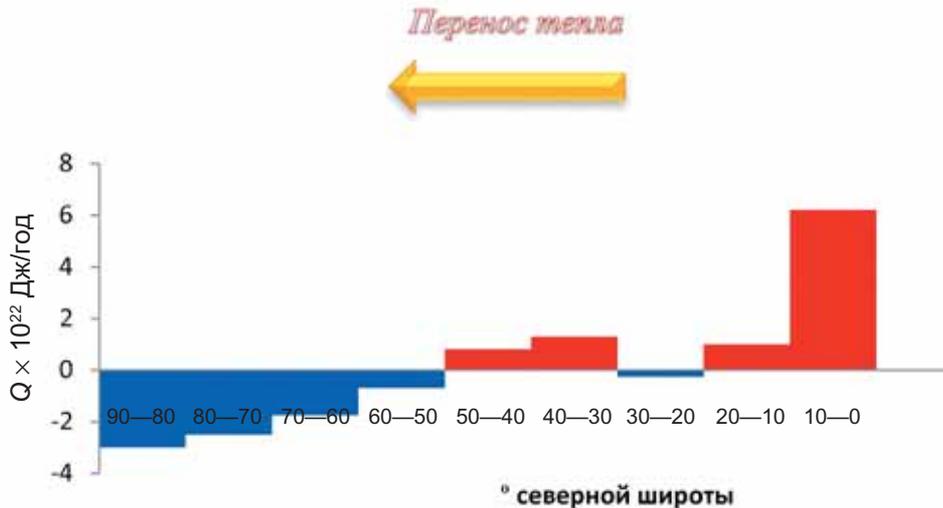
$$Q_E + Q_P - Q_R = 0.$$

Ноль в правой части означает, что температура атмосферы в целом для всей Земли остается постоянной (приход тепла равен расходу). А теперь посмотрим, как выполняется тепловой баланс в разных районах Земли. Оказывается, никак не выполняется! В тропиках и субтропиках баланс нарушен в положительную сторону — в этих





### Тепловой баланс атмосферы



Тепловой баланс атмосферы в слое от 0 до 5 км. Красные столбики означают приток тепла к атмосфере, синие — отдачу тепла атмосферой. При таких условиях температура на полюсе должна быть  $-44^{\circ}\text{C}$ , а на экваторе  $39^{\circ}\text{C}$  (разница экватор — полюс  $83^{\circ}\text{C}$ ). На самом деле контрасты гораздо меньше: в среднем за год температура на полюсе равна  $-22^{\circ}\text{C}$ , а на

экваторе  $26^{\circ}\text{C}$  (разница  $48^{\circ}\text{C}$ ). Значит, должен быть какой-то механизм переноса тепла из низких широт в высокие? Да, он есть — это воздушные и океанические течения, переносящие избыточное тепло тропиков к полюсам Земли. Постоянно действующая система воздушных течений называется общей циркуляцией атмосферы.

районах атмосфера накапливает тепло. В умеренном поясе и за полярным кругом, напротив, происходит охлаждение атмосферы: радиационная отдача тепла  $Q_R$  здесь больше, чем сумма приходных статей теплового баланса.

Значит, в уравнение теплового баланса для отдельных районов Земли надо

добавить еще один член, который бы выравнивал нарастающие контрасты содержания тепла. Это перенос тепла воздушными и океаническими течениями из тропических районов в полярные. В метеорологии такой перенос называется адвекцией  $Q_A$ . Тогда уравнение теплового баланса будет выглядеть так:

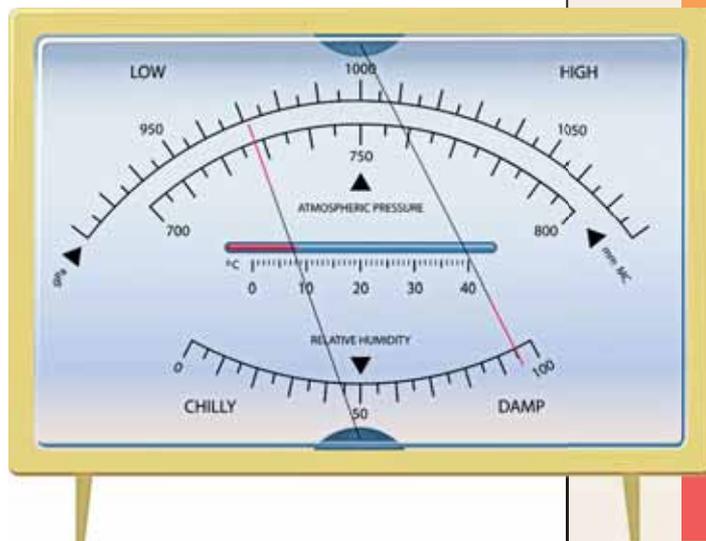




Анероид — прибор для измерения атмосферного давления. Главной особенностью анероидного барометра является то, что его механизм не использует жидкость.

Обычно барометр имеет две шкалы измерений. На одной шкале давление измеряется в паскалях, а на другой — в миллиметрах ртутного столба. Часто встречаются анероиды с контрольной и подвижной стрелками. С помощью контрольной стрелки можно зафиксировать значение атмосферного давления в определенное время, а затем по подвижной стрелке сравнить уровень изменения давления.

Дополнительно анероидный барометр может быть оборудован термометром, гигрометром, часами и другими измерительными приборами.



$$Q_E + Q_P - Q_R = Q_A$$

и соблюдаться для любого уголка земного шара.

Наша несложная «бухгалтерия» приводит к важному выводу: на Земле, освещаемой Солнцем, неизбежно должны возникнуть движения воздушных масс, их перемещение из одних районов в другие, именно из-за этих движений у нас вечно меняется погода. Называются глобальные перемещения воздуха общей циркуляцией атмосферы. Посмотрим теперь, как она выглядит.

Для этого нам нужно побывать сначала на экваторе, а потом на полюсе, прихватив с собой барометр... Экватор — жарко и влажно, идем искупаться в море и заодно посмотрим на барометр — он показывает обычные 760 мм рт. ст. Освеженные купанием, заберемся-ка на бли-

Барометр показывает «ясно», но давление несколько ниже нормы.





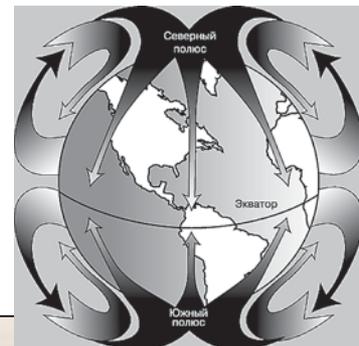
жайшую гору, на один километр вверх, а там уже барометр покажет 679 мм рт. ст. Все правильно, с высотой давление воздуха должно уменьшаться. Теперь оденемся потеплее — и на Северный полюс, на льдину к полярникам. Смотрим на барометр — все те же 760 мм рт. ст. А на километровой высоте какое оно будет? Гор в Северном Ледовитом океане нет, придется запускать метеорологический зонд, и он нам передаст по радио, что там, вверху. Оказывается, на высоте 1000 м давление воздуха равно всего 648 мм рт. ст. В чем же дело? Почему на одной и той же высоте давление воздуха у экватора выше, чем на полюсе?

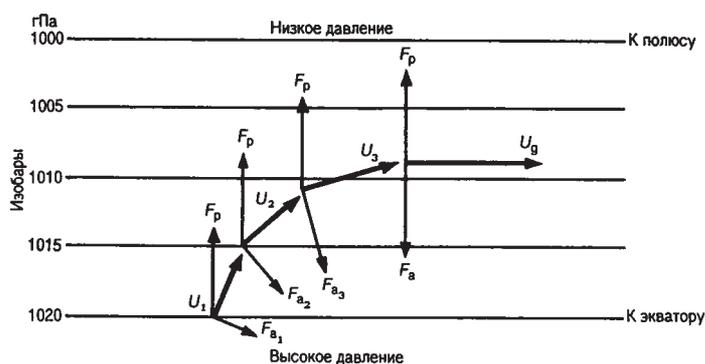
А вот почему. Теплый и влажный тропический воздух — менее плотный и более легкий, чем холодный и сухой полярный. Поэтому общее для всей атмосферы падение давления с высотой в теплом воздухе происходит медленнее, чем в холодном, и уже на высоте один километр чувствуются значительные различия давления по линии экватор — полюс. А чем выше мы поднимемся, тем эти различия будут становиться все больше. Именно поэтому слой тропосферы в Арктике простирается до 6—8 км, а в тропиках — до 18—20 км.

Вот так, путешествуя с барометром, мы открыли важный закон: поле давления воздуха (барическое, как его называют) в земной тропосфере представляет собой как бы гигантскую воронку, центр которой (низкое давление) расположен на полюсе, а края (высокое давление) — в экваториальных и тропических широтах. В результате возникает сила, толкающая теплый тропический воздух на север. Она так и называется — сила барического градиента (перепада давления). В этой силе и заключается начало начал всей циркуляции атмосферы!

А какая будет циркуляция, зависит от характеристик Земли как планеты. На минуту представим себе невероятное: Земля стала однородной, только из воды или только из суши, и перестала вращаться вокруг своей оси. Тогда образуется одна ячейка циркуляции — перекачка воздуха по меридиану, с юга на север и обратно, при этом наша погода будет не очень приятная. А именно у поверхности Земли, где мы и живем, установятся постоянные ветры с полюсов, несущие с собой холод. Но, к счастью, Земля все-таки вертится! И поэтому на ней появляется вторая сила, управляющая движением воздуха и полностью изменяющая

Так циркулировал бы воздух на Земле, если бы она не вращалась вокруг своей оси. Под воздействием силы барического градиента теплый тропический воздух перетекает к полюсу строго по меридиану, в направлении градиента давления. Поскольку он легкий, то занимает верхнюю тропосферу. В нижней тропосфере, у поверхности земли, везде господствует холодный ветер с полюса. Вот так неуютно было бы нам жить, если бы Земля не вращалась вокруг оси.





Барический закон ветра (закон Бейс-Балло). Под действием силы барического градиента воздух от высокого давления начинает двигаться к низкому, ветер при этом будет южным. Но как только воздушная масса сдвинется с места, сразу начнет действовать сила Кориолиса, отклоняющая ее к востоку. С усилением скорости ветра  $U$  сила Кориолиса и ее отклоняющее действие будут становиться все больше. Наконец, наступит такой момент,

когда обе силы уравниваются друг друга, и ветер станет чисто западным. Такое соотношение сил и направления ветра называется геострофическим. Это главный закон, управляющий движением атмосферы: ветер дует так, что низкое давление остается слева от его направления и несколько впереди, а высокое — справа. Этому закону подчиняются и самые крупные потоки воздуха, и ветры меньшего масштаба, например в циклонах и антициклонах.

картину циркуляции. Она называется силой Кориолиса, по имени французского ученого, впервые описавшего ее.

Представьте себе, что вы играете в футбол и бьете по воротам. С самого момента удара мяч уже не принадлежит вам, более того, он не принадлежит и Земле. Им руководит инерция, он принадлежит мировому пространству, космосу. Как так?! Внимательно читаем первый закон Ньютона: «Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока на него не воздействует сила». Вы целились мячом в ворота, а в космическом масштабе, сами того не зная, на какую-нибудь звез-

ду Альфа Центавра. Вот он туда и летит по инерции, никакая другая сила, кроме вашего удара, на него не действует. Конечно, есть еще сила притяжения Земли, и она не даст мячу улететь к звездам, но «космическое» направление, плоскость движения мяч сохранит.

А между тем ворота вместе с вращающейся Землей движутся по отношению к мячу, уходят от него, и если вы метили в центр ворот, то можете попасть в правый угол или вообще мяч улетит к зрителям. Так не бывает, скажете вы. Правильно, не бывает. Потому что время полета мяча очень мало, чтобы проявилось действие силы Кориолиса. А оно

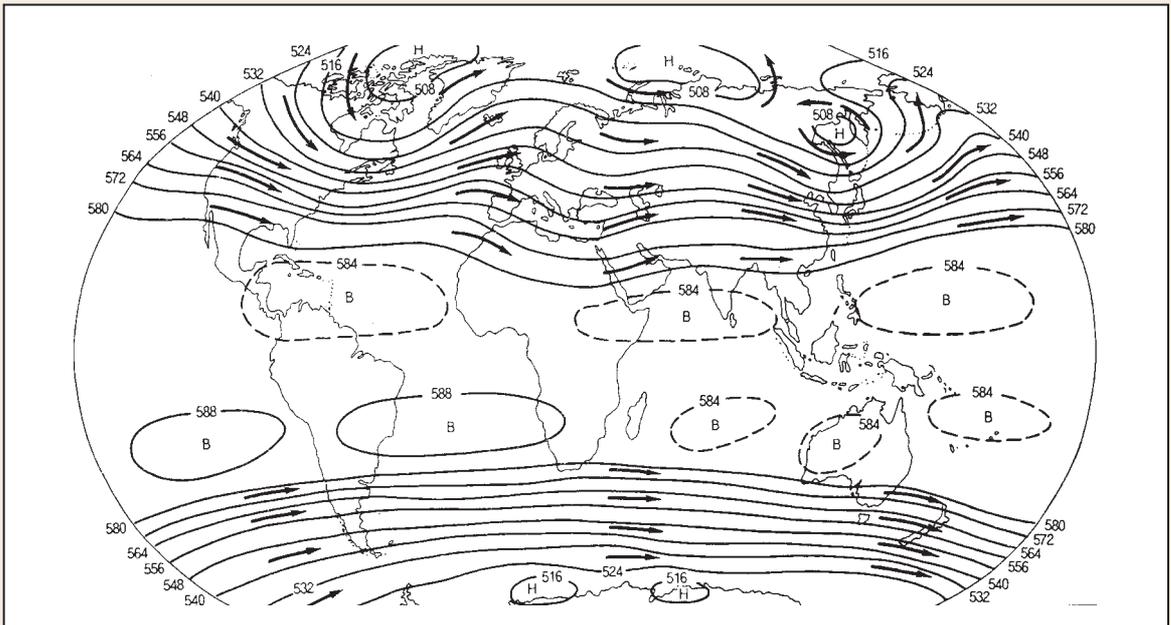




## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

состоит в том, что любое движущееся по вращающейся Земле тело отклоняется от первоначального направления движения вправо в Северном полушарии и влево — в Южном. Воздух долго совершает свой путь, и на него сила Кориолиса действует в полном объеме. Посмотрим, что из этого получается.

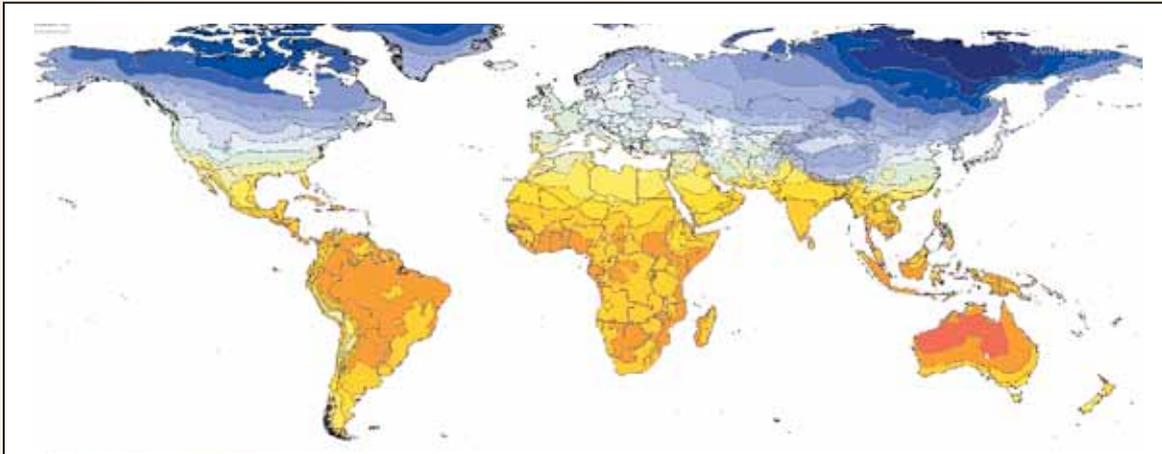
Как только тропическая воздушная масса трогается с места в сторону низкого давления, начинается борьба двух сил — барического градиента и Кориолиса — за направление ее движения. Одна стремится сохранить это направление, а другая — отклонить его в сторону, вправо в Северном полушарии и



Великий западный перенос в атмосфере. Индексы Н и В обозначают области низкого и высокого давления. Стрелками показано направление движения воздуха (ветра) в этой атмосферной реке. Сплошные линии — изобары, линии одинакового давления, вдоль них воздух и движется, подчиняясь главному закону ветра — геострофическому соотношению. В переводе с древнегреческого геострофический означает «огигающий Землю», и это хорошо видно на рисунке. В Южном по-

лушарии, где материковая площадь невелика, ветер над океанами практически чисто западный и разгоняется до больших скоростей — моряки окрестили эти районы «ревущими сороковыми широтами». В Северном полушарии чередование материков и океанов делает западно-восточный перенос волнистым, наиболее сильные ветры здесь — на границах воды и суши. Такая циркуляция воздуха преобладает во всей тропосфере за исключением самого нижнего ее слоя.





Температура воздуха в январе. В Европе и Азии температура достаточно равномерно понижается с запада на восток, от 0 — плюс 5 °С в Англии и Франции (светло-зеленый цвет) до минус 40—45 °С в Восточной Сибири (густой синий цвет). Это влияние Великого западного переноса: именно он доставляет теплый воздух Северной Атлантики на континент и делает зимний климат его мягким. Но чем дальше продвигается атлантический воздух, тем больше он охлаждается, его обогревающее влияние ограничива-

ется примерно районом Урала (температура минус 15—20 °С). В Восточной Сибири очень холодно, хотя там рядом другой теплый океан — Тихий. Почему? Потому что западный перенос не может доставлять теплый тихоокеанский воздух в Азию, он несет его на восток, к берегам Северной Америки. Однако распределение температуры в Америке совсем не похоже на Евразию. Это потому, что на пути западного переноса встанут высокие горы Кордильеры, которые этот воздух задерживают.

влево — в Южном. Это напоминает армрестлинг, борьбу рук, но здесь явного победителя нет: в итоге наступает равновесие сил, при котором воздушные массы текут с запада на восток. Так образуется огромная атмосферная река, в которой воздух совершает повторяющиеся кругосветные путешествия в среднем за две-три недели. Без преувеличения, эту реку можно назвать Великим западным переносом воздуха. Он господствует во всей тропосфере выше 1—1,5 км.

Вот поэтому и говорят, что погода к нам чаще всего приходит с запада.

Великий западный перенос создает в наших широтах большую погоду — то, что мы называем климатом. Благодаря этой атмосферной реке океаны утепляют климат континентов зимой и умеряют летнюю жару. Для жителей Западной Европы мороз под 10—15 °С уже катастрофа, зато летом там не бывает очень жарко. Такой климат называется морским, у нас тоже есть такие области — это





«Грейт Вестерн» (Great Western) — первый корабль, специально построенный для трансатлантических рейсов. Корабль конструкции Изамбарда Кингдома Брюнеля стал образцом для всех будущих трансатлантических деревянных гребных пароходов. «Грейт Вестерн» работал на Нью-Йоркском направлении в течение восьми лет. После участия в Крымской войне был отдан на слом.



Северо-Западная Россия, Петербург. За мягкость морского климата приходится расплачиваться частыми и нудными дождями — это западный ветер несет влагу с океана.

Великий западный перенос определяет не только климат, к которому мы так или иначе привыкаем, но и повседневную жизнь людей... В начале эры научно-технического прогресса, в 1836 г., в Англии соорудили железную дорогу между Лондоном и Бристолем. Буквально спустя два года талантливый инженер Брюнель сумел соединить Бристоль и Нью-Йорк. Для этой цели он построил «Грейт Вестерн» — один из первых трансатлантических пароходов. Теперь из Англии в Америку и наоборот можно было попасть всего за две недели. С тех пор на просторах Атлантики началась невиданная гонка пассажирских пароходов, продолжавшаяся более ста лет, — кто быстрее пересечет океан. Победителю вручался символический приз Голубая лента Атлантики — простой флажок на мачту, который, однако, стал очень престижным. Это и понятно, ведь пассажиры выбирали самые быстрейшие корабли, потому что время — деньги, и, кроме того, путешествие

по штормовому океану далеко не всегда веселая прогулка. Судовладельцы, обладавшие Голубой лентой, могли рассчитывать на хорошую прибыль.

Но как бы они ни старались, Великий западный перенос делал свое дело: и во времена Брюнеля, и намного позднее, когда на морских дорогах появились огромные паротурбинные лайнеры, время перехода через океан в сторону Европы упорно оказывалось меньше, чем время плавания в обратном направлении. Для пароходов типа «Грейт Вестерн» это различие достигало двух-трех суток, гигантские же лайнеры XX в. «прибегали» из Америки в Европу хоть на полчаса-час, но быстрее, чем из Европы в Америку. Разгадка проста: суда, идущие в Америку, тормозятся встречными океанскими волнами, которые поднимает Великий западный перенос.

Или вот возьмем наше время. Великий западный перенос в наибольшей степени проявляется в верхней тропосфере, на высоте 8—10 км, там постоянно существуют так называемые



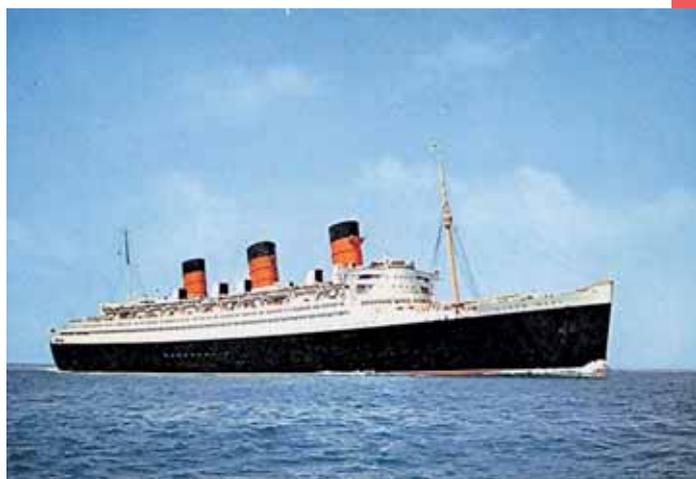
## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



струйные течения — потоки воздуха со скоростями ветра до 100 м/с. Именно на этих высотах и летают современные пассажирские самолеты. Не дай бог встретиться им со струйным течением «не с той стороны» — на нижней и северной границах течения развивается очень сильная турбулентность, и самолет начнет бросать вверх-вниз вплоть

до разрушения его конструкций. Летчики это хорошо знают. Но знают они также и то, что если аккуратно войти в попутное струйное течение сбоку, с южной его стороны, время полета сильно сократится и экономия топлива будет очень ощутимой. А за это дают премии! Вот так Великий западный перенос может влиять на нашу обыденную жизнь.

Английский трансатлантический лайнер «Куин Мэри» — один из самых заслуженных обладателей Голубой ленты Атлантики. Лайнеру длиной более 300 м и водоизмещением 81 тыс. т, кажется, ничего в океане грозить не может, самые высокие волны едва достигали его главной палубы (белые надстройки). Тем не менее он тоже был под властью Великого западного переноса: в 1936 г., в год его триумфа, он преодолел путь до Америки за 3 суток 21 час 48 минут со средней скоростью 31 узел (57,4 км/ч), а обратный путь прошел быстрее — за 3 суток 20 часов и 42 минуты, средняя скорость 31,7 узла (57,9 км/ч). Разница всего в один час, но она есть! Как говорят метеорологи, погоду не обманешь.



«Куин Мэри» на вечном приколе в Лонг-Бич, Калифорния, США.



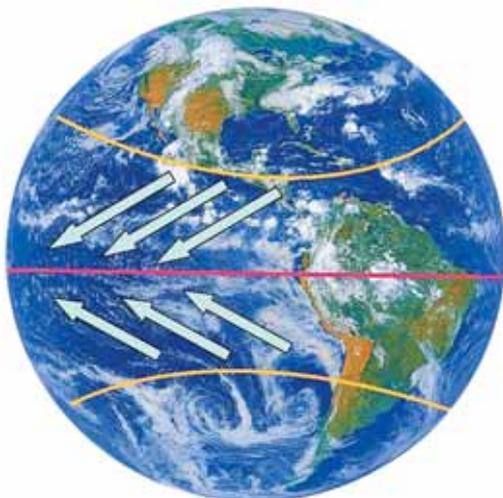


А теперь спустимся с высот на землю. Поле давления и ветры в нижнем слое тропосферы несколько отличаются от высотных: Великий западный перенос остается, но становится уже и сохраняется только в умеренных широтах Земли, зато появляется пояс субтропических антициклонов, образующих вторую атмосферную реку. Это тропические пассатные ветры, дующие по южной периферии антициклонов навстречу Великому западному переносу — с востока на запад. Вертикальная мощность этой реки невелика, всего 1,5—2,0 км, но под ее влиянием оказывается не менее половины площади земного шара.

Как и во всяком быстром потоке воды, в атмосферных реках возникают свои «водовороты», воздушные вихри — циклоны и антициклоны, вот они и приносят с собой перемены погоды. Познакомимся с наиболее ярким проявлением вихревой деятельности атмосферы — с

тропическими циклонами. Они возникают в пассатах над океанами, в Северном полушарии в основном в конце лета и осенью, причем не так часто, как циклоны в наших широтах, но при встрече с ними, как говорится, мало не покажется.

В спокойных пассатных потоках довольно часто образуются небольшие пятна низкого давления, большинство из них быстро исчезает, а вот некоторые внезапно закручиваются в циклонический вихрь. Выяснено, что в этом «виноват» океан. Он отдает новорожденному циклону огромное количество влаги, которая быстро превращается в мощные облака, достигающие высоты 10—12 км. При этом атмосфера сильно нагревается, давление в центре циклона катастрофически падает, и развивается ужасающей силы ветер, скорость которого достигает 50—80 м/с, а при порывах и 100 м/с. Но этого мало — из облачного массива тропического циклона низвер-



Атмосферное давление и ветры в низких широтах. Такая циркуляция характерна для нижних 1,5—2 км. Индекс В — высокое давление, субтропические антициклоны, индекс Н — низкое давление около экватора. Между ними, как и положено по закону геострофического ветра, возникает перенос воздуха с востока на запад, но немного отклоненный под действием силы трения в сторону низкого давления (голубые стрелки). Это и есть вторая атмосферная река — пассаты. Ветры пассатов очень устойчивы по силе и направлению, за что получили название «торговых ветров» (tradewinds) — парусным торговым судам они обеспечивали непрерывное и спокойное плавание.





Внутритропическая зона конвергенции — промежуточная зона шириной несколько градусов широты между пассатами Северного и Южного полушарий. Большую часть года располагается севернее экватора; зимой Северного полушария приближается к экватору (иногда может проникать в Южное полушарие), а летом удаляется от него. Характер

погоды во внутритропической зоне конвергенции резко отличается от погоды в пассатах. Конвекция здесь усилена, облачность увеличена, облака достигают больших высот, и из них выпадают обильные ливневые осадки. Здесь образуется большая часть тропических циклонов со штормовыми ветрами и катастрофическими последствиями.

гаются сильнейшие ливневые дожди. В среднем из одного циклона выпадает примерно 500 мм осадков, в редких случаях их количество может достигать 2500 мм! Представьте себе местность, на которую за 12 часов вылилось 2,5 м воды при ураганном ветре, и вы сможете оценить размер бедствий в зоне действия тропического циклона. Экономический ущерб от одного такого циклона, не говоря об унесенных жизнях, достигает

нескольких сотен миллионов долларов, а иногда и переваливает за миллиард.

Возникнув над пустынными районами океанов, тропические циклоны устремляются на запад и, набрав силу, обрушиваются на прибрежные страны. Здесь они обычно останавливаются, несколько дней «топчутся» на месте, круша все вокруг, и только после этого поворачивают к востоку, обгибая субтропический антициклон, и медленно





Тропический циклон «Иван» над Карибским морем, осень 2002 г. Облака вытянуты вдоль ветра, который дует в циклоне против часовой стрелки. Физика образования ветра почти такая же, как и у Великого западного переноса, только в меньшем масштабе: воздух движется внутри циклона под действием сил барического градиента и Кориолиса, правда, добавляется центробежная сила, ведь воздух вращается вокруг центра циклона. В приземном слое появляется еще одна сила — трения воздуха о поверхность земли, именно она

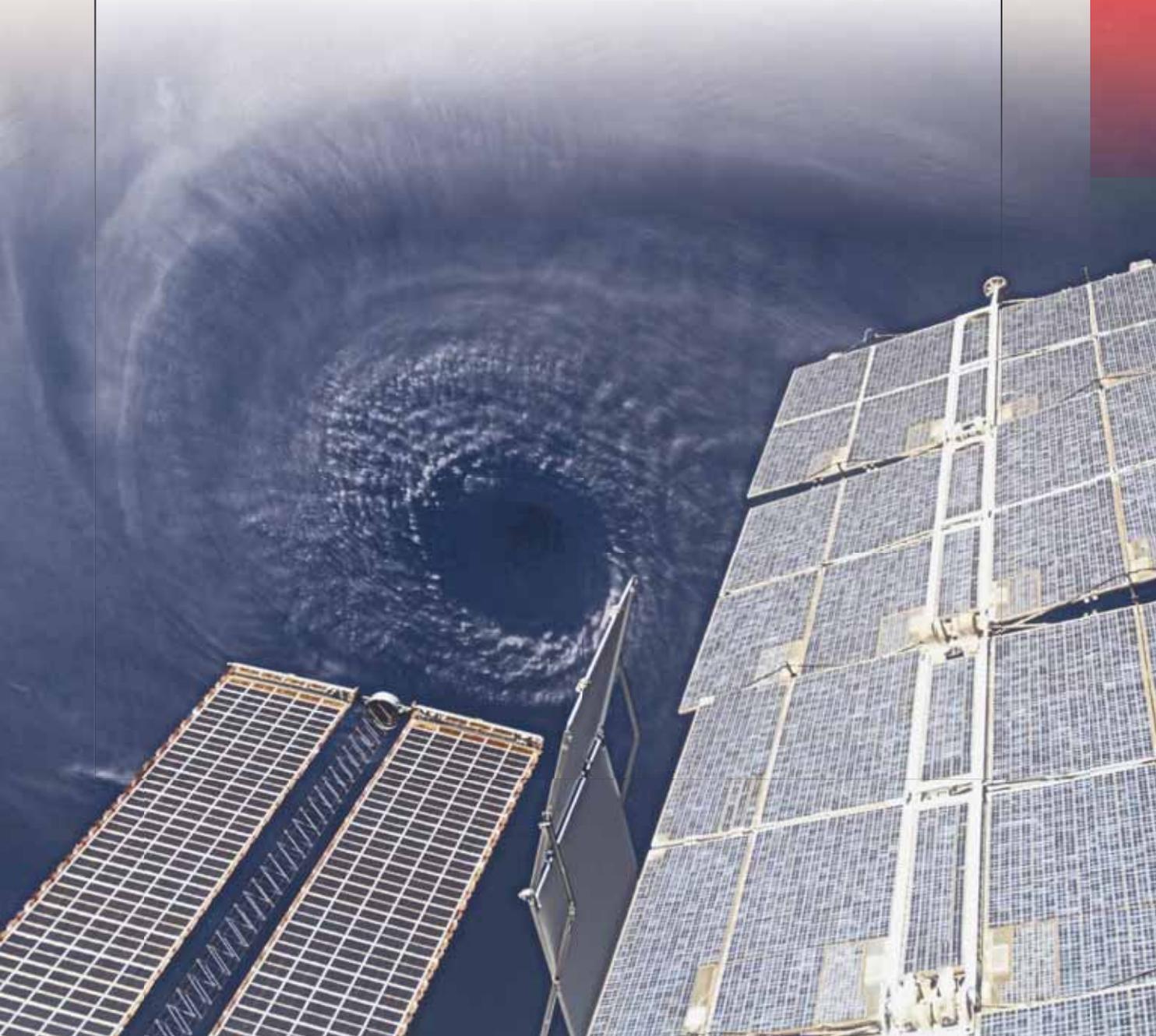
отклоняет ветер от изобар в сторону низкого давления, и поэтому облака закручиваются в спирали, стремящиеся к центру. Такие циклоны встречаются во всем тропическом поясе, на западе Атлантики они называются ураганами (от индейского обозначения жестокого ветра), на Дальнем Востоке — тайфунами (от китайского «тай фын» — «большой ветер»), у берегов Австралии — вилли-вилли, в Океании — вилли-вау, на Филиппинах — багио, а жители Индии именуют их просто циклонами.





Центр тропического циклона «Иван». Скорость вращения воздуха здесь настолько велика, а радиус вращения настолько мал, что центробежная сила перевешивает все остальные и просто отбрасывает облачные массы от центра. Образуется «колодец» диаметром около 30—50 км, который называется «глаз бури». Попав в этот «глаз», человек оказывается как бы в

гигантской штилевой воронке, внутри нее погода безветренная и солнечная, а по краям, представляющим собой плотную грозовую облачность, бушует ураган. По словам очевидцев, резкий переход от темноты и урагана к безмятежной солнечной погоде действует очень угнетающе, особенно если знаешь, что через час-другой вновь окажешься в кромешном аду.





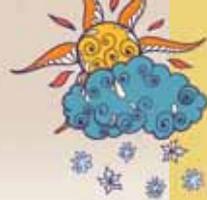
Глаз бури — максимальное приближение. Все тот же ураган «Иван».

уходят, замирая где-то в океане. Неожиданность появления, капризный нрав и внезапная ярость тропических циклонов почему-то подсказали метеорологам мысль называть их женскими именами. Один английский метеоролог выразился так: «А как бы вы еще назвали бешеную бурю, которая неожиданно свалилась на вас невесть откуда и потом, тихо воркуя, ушла неизвестно куда?» На

просторах океанов ежегодно рождалось 60—70 «очаровательных созданий»: Камилла, Джильда, Полли, Эвелин, Ширли, Бетси... Однако с 1978 г. по настоятельному требованию прекрасной половины человечества Всемирная метеорологическая организация рекомендовала присваивать тропическим циклонам и мужские имена. Так была восстановлена справедливость.

В атмосферной реке Великого западного переноса тоже рождаются циклонические вихри. Хотя воздух в



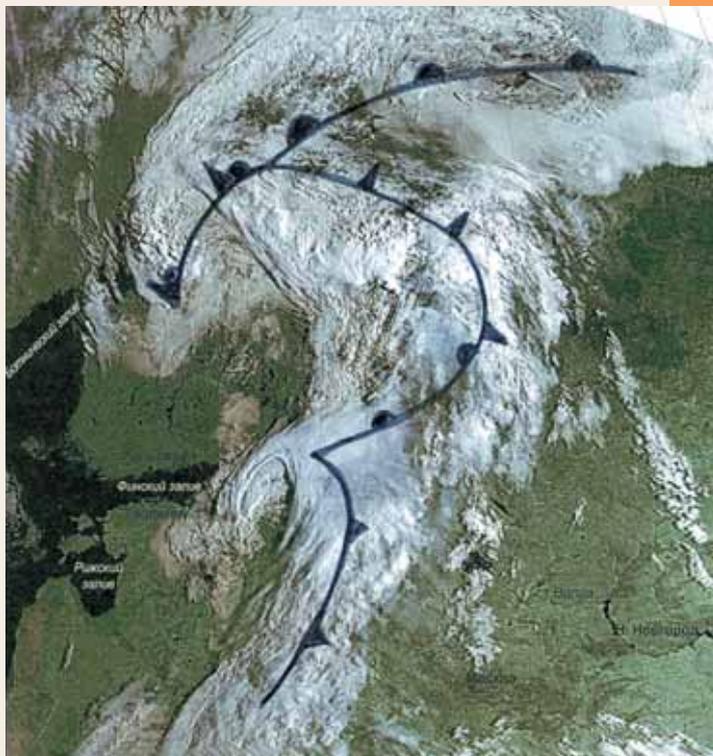


них вращается так же — против часовой стрелки (в Северном полушарии Земли), но они далеко не такие свирепые, как тропические ураганы и тайфуны. Зато их гораздо больше, образуются они целыми семействами в течение всего года и перемещаются в основном с запада на восток в русле Великого западного переноса. Диаметр хорошо развитого циклона умеренных широт около 1500 км, а время жизни — до семи суток. Вблизи поверхности Земли воздух, как и в тропических циклонах, стремится по спирали к центру и поднимается вверх, образуя мощную облачную систему. С циклонами умеренных широт связано подавляющее большинство опасных явлений погоды, влияющих на нашу жизнь: сильные ветры, которые иногда достигают штормовых скоростей, обильные осадки, метели, грозы и град, гололед, области туманов протяженностью в сотни километров. Циклоны приносят с собой тепло в передней своей части и внезапный холод — в тылу. В общем, именно за ними надо следить, если мы, в наших с вами умеренных широтах, хотим дать правильный прогноз погоды.

Кроме циклонов в западном переносе рождаются совершенно противоположные по погоде вихри — антициклоны. Воздух в них вращается по часовой стрелке и вблизи земли расходится в стороны от центра. Образующуюся «пустоту» заполняет воздух сверху, из средней тропосферы. Опускание воздуха препятствует развитию дождевой облачности, умеряет ветры, и в антициклоне всегда тихая погода, чаще всего солнечная. С этими вихрями связаны всего два опасных явления

погоды — густые утренние туманы и заморозки, повреждающие молодые всходы растений.

Но антициклон — вещь коварная. Если он «решил» встать на одном месте



Космический снимок циклонов над северо-западом европейской территории России. Сверху — хорошо развитый циклон, снизу — молодой развивающийся. Это циклоническая серия, объединенная системой атмосферных фронтов (черные линии), разделяющих теплые и холодные воздушные массы. Именно за счет большого контраста температур на фронтах развиваются и растут наши циклоны. Совсем не так, как в тропиках.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

надолго, а это иногда бывает в отличие от циклонов, то возникают крупные и длительные аномалии погоды. Летом это засухи, иногда катастрофические, как было на европейской территории России во второй половине июня — первой половине августа 2010 г., когда за два месяца вообще не выпало ни капли дождя и горели леса. Зимой — продолжительные и очень суровые морозы, до минус 30—40 °С. Если движение циклонов синоптики прогнозируют на несколько дней достаточно правильно, то поведение остановившегося антициклона пока поддается прогнозу с трудом. Метеорологи называют такую ситуацию блокированием западно-восточного переноса. Это одна из самых важных проблем долгосрочного прогноза погоды. И решать ее вам, молодым.

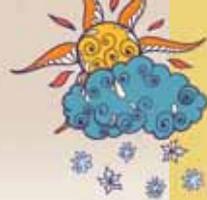
Постоянно сменяющие друг друга циклоны и антициклоны создают у нас

главные перемены погоды. Именно они захватывают целые регионы, и если, например, циклон принес похолодание в Петербург, то синоптик по картам погоды видит, что через день похолодает и в Москве. Такие перемены погоды можно назвать средними по масштабу, и для нас они наиболее важные. Именно о них говорится в газетах и по телевидению. Однако если мы хотим точно прогнозировать погоду в конкретном городе, деревне, районе, нужно заняться еще и малой погодой.

Что вообще требует человек от прогноза погоды? Конечно, ясности — когда, где и во сколько произойдет то или иное атмосферное явление. А что ему подчас предлагают в прогнозах, например, по Москве? «Местами пройдут кратковременные дожди, кое-где возможны грозы». А можно без «местами» и «кое-где», но совсем точно — по всем районам боль-

Лесные пожары в европейской части России летом 2010 г. — результат засухи, которую создал теплый блокирующий антициклон, простоявший над европейской территорией целых два месяца. Антициклон — это, конечно, хорошее оправдание нашим необдуманным действиям, но и мы должны задуматься — нельзя жечь костры и бросать окурки в сухом лесу!





И. Айвазовский. Вид на Москву с Воробьевых гор. 1848 г. Вдали виден Кремль с белым силуэтом колокольни Ивана Великого. На противоположном берегу Москвы-реки простирается заливной луг, где сейчас расположен спортивный комплекс Лужники. Кучевое облако, образовавшееся над городом, является результатом усиленной конвекции воздуха над «каменным» материалом города. Это одно из первых изображений влияния человека на окружающую среду.



шого города? Посмотрим. Город — это миниатюрная страна, в которой обычные земные ландшафты заменены их микрокопиями: высотные микрорайоны — это горные массивы, парки — леса, озера — моря, аэродромы — степи, площади — каменистые пустыни. Город так же сложен, как целый континент. И даже еще сложнее: в отличие от естественной географической среды, город не только поглощает солнечное тепло, но и вырабатывает энергию сам. Подсчитано, что в большом городе площадью 1000 км<sup>2</sup> с населением несколько миллионов человек вырабатывается такое количество энергии, которое превышает количество поглощаемого городом солнечного тепла! Это не может не сказаться на погоде. Интересно, что в Москве уже в XIX в. проявлялось влияние города на ускоренное формирование кучевых облаков, хотя масштабы тогдашней городской застройки с современными не сравнить. Это хорошо видно на картине И. К. Айвазовского, написанной в 1848 г.

Начнем, пожалуй, с дождя. «В нашем городе дождь, он идет днем и но-

чью», — пелось когда-то в популярной песне. Это так называемый обложной дождь, он не очень сильный, но захватывает сразу тысячи квадратных километров и поэтому ни в центре, ни на окраине города больших различий не имеет. Его дает большой циклон. Для правильного прогноза такого дождя нужно правильно рассчитать движение циклона и эволюцию его облачности. А вот что такое «нормальный летний дождь», о котором тоже поется в старом фильме «Я шагаю по Москве» с совсем молодым еще Никитой Михалковым? В утреннем прогнозе погоды вероятность такого дождя выражается следующим образом: «Во второй половине дня местами пройдут кратковременные дожди, возможны грозы». Попробуем разобраться, что стоит за этой привычной фразой.

«Во второй половине дня...» — это понятно: в летний солнечный день к 13—





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

14 часам поверхность Земли сильно разогревается, образуется множество теплых воздушных пузырей, которые, согласно закону Архимеда, устремляются вверх. Это называется свободной, или термической, конвекцией. Она — одна из главных причин образования мощных грозных облаков высотой до 8—10 км, их именуют кучево-дождевыми. Такие облака образуются и за городом, но в пределах города конвекция резко усиливается за счет «каменного» материала строений, мостовых и троту-

аров, а также вследствие дополнительного выделения тепла промышленными предприятиями.

Грозные облака имеют средний диаметр у основания около 10 км. При скорости их движения 20—30 км/ч такое облако будет проходить над наблюдателем в течение 20—30 минут. Столько же времени будет продолжаться и выпадающий из облака ливневый дождь. Вот почему в прогнозе указаны «кратковременные дожди». Наконец, знаменитое «местами». Сравнение среднего диаметра облака (10 км) со средним диаметром большого города, например Москвы (40 км), приводит к выводу, что из одного облака повсеместно дождь идти не может. И это хорошо видно на картине А. К. Саврасова.

Зимой в большом городе осадки выпадают равномернее, чем летом, зато температура воздуха может сильно меняться, особенно в тихую морозную погоду. Над городом стоит «шапка тепла», обязанная своим происхождением энерговыделению предприятий, транспорта и теплосетей. Поэтому температура в центре города всегда будет выше, чем на окраинах.

Так что не стоит упрекать метеорологов в неточности сообщений о погоде, глядя лишь на свой термометр. Получается, чем меньше территория, по которой дается прогноз погоды, тем он сложнее! Вроде бы абсурд. Но разгадка здесь заключена в том, что погода имеет разные масштабы, о которых мы уже говорили. Давайте повторим.

На пространствах континентов и океанов, если смотреть длительное время, «работает» большая погода — климат. Это некоторые средние усло-



А. Саврасов. Вид на Кремль с Крымского моста в ненастную погоду. 1851 г. То, что «нормальный летний дождь» не может охватить всю Москву сразу, хорошо видно на этой картине. Здесь, у Крымского моста, женщина спешит укрыться от надвигающегося дождя, а там — над Кремлем, всего в двух километрах — вовсю сияет солнце, освещая Белокаменную.





Количество сильных дождей в Москве в летний сезон. В Замоскворечье за лето наблюдается в среднем семь сильных дождей (более 10 мм осадков), в Тушине и в Царицыне — всего пять. Статистика показывает, что если на вас «проливается» кратковременный летний дождь где-то на юге Москвы, то вероятность одновременных осадков в центре города составляет 68%, а на севере — всего 53%. В этом и заключается весь смысл формулировки «местами пройдут дожди».

вия погоды за много лет, к которым мы привыкли. Изменения климата прогнозировать очень сложно, и сейчас речь не об этом. Зато мы можем выделить крупные области однородной погоды, которые меняются ежедневно — холодает, теплеет, начнутся дожди, осадков не будет. Вот это наша задача, погода здесь меняется под воздействием циклонов и антициклонов, пути которых мы можем рассчитать. Такие измене-

ния погоды, позволяющие дать прогноз на несколько дней вперед, можно назвать погодой среднего масштаба. Наконец, в масштабе города, небольшого района на общий фон погоды накладываются мелкие процессы, например, распределение дождя и опасных явлений внутри мощного кучевого облака. Такую, малую, погоду мы тоже должны предсказывать. А теперь посмотрим, можем ли мы это сделать.



Температура воздуха в Москве при морозной погоде. Вдоль Московской кольцевой автодороги температура воздуха на 3—3,5 °С ниже, чем в центре города. Исключение составляет лишь юго-западная часть Москвы: там расположена Теплостанская возвышенность, а зимой на возвышенностях всегда теплее, чем в низинах. В отдельных случаях температурные различия между центром и окраинами могут достигать 8—10 °С.





## НА АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТАХ

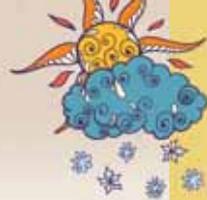


Фронт Первой мировой войны. Сплошная линия — окопы русской армии, в которых она сидела многие месяцы перед победным Брусиловским наступлением против австро-венгров в июне 1916 г. Пунктирная линия — положение фронта после наступления. Видна борьба двух сил и передвижение фронта. Вот так и в атмосфере — холодный воздух борется с теплым на атмосферном фронте, который тоже передвигается в зависимости от того, кто победит. Все это отражается на изменениях нашей погоды.

В августе 1914 г. на просторах Европы разгорелась первая в истории человечества Мировая война. В ней участвовало в общей сложности 38 независимых государств мира, разделенных на два лагеря: первый возглавили Великобритания, Франция и Россия (так называемая Антанта), второй — Германия и Австро-Венгрия. Стороны надеялись достичь быстрой победы путем широкого наступления миллионных армий на стан врага. Считалось, что в течение трех, максимум четырех месяцев война будет закончена. В начале вроде так и пошло — немцы быстро дошли почти до Парижа, русские захватили значительную часть Австро-Венгрии, но... на этом все и остановились. Военный порыв выдохся — слишком велики были потери и слишком сильна артиллерия противников, чтобы позволить армиям продвигаться дальше. Войска встали друг против друга и надолго закопались в землю, построив невиданные до этого линии укреплений, простиравшиеся на сотни и тысячи километров по всей Европе. Эти линии назывались фронтами.

Наконец в 1918 г. война закончилась, выжившие разъехались по домам, проклиная холодные и сырые окопы фронтов... Война — это отвратительное явление, а ее жертвы — вечный укор правителям, не умеющим договариваться. Но при этом Первая мировая дала множество технических решений и идей, поднявших цивилизацию на новый качественный уровень. Не осталась в стороне и метеорология...





Новые идеи пришли из Норвегии, небольшой по европейским меркам страны, протянувшейся узкой лентой вдоль атлантического побережья Скандинавии. Почему именно здесь, на окраине Европы, произошли революционные изменения в метеорологии, в принципе понятно — именно Норвегия первой встречает циклоны с Атлантического океана, и для прогноза их поведения жизненно необходимо знать внутреннее устройство этих громадных атмосферных вихрей. В 20-х гг. прошлого века, решая загадки циклонов, небольшая группа норвежских метеорологов во главе с Вильгельмом Бьеркнесом пришла к уверенному выводу: на синоптических картах тоже должны быть фронты, как и на картах прошедшей войны! Это тоже линии противостояния, но на них сталкиваются не войска противников, а теплые и холодные массы воздуха, которые затягиваются в циклон.

Так родилась фронтальная модель циклона, он перестал быть одинаковым во всех своих частях, как думали до этого. Оказалось, что все системы облаков, зоны осадков и подавляющее большинство явлений погоды связаны по своему происхождению с атмосферными фронтами. В циклонах их бывает несколько, и каждый обладает своей «фирменной» погодой. Достаточно установить, где фронты находятся сейчас, куда будут двигаться в будущем — и вот прогноз погоды готов. Конечно, не все так просто, иначе не было бы ошибок в прогнозах, хоть и редких в наше время, но все-таки встречающихся. Однако главный принцип прогноза погоды остается неизменным: рассчитай на будущее движение и состояние атмосферных фронтов!



Длинная разноцветная линия — это атмосферный фронт, он выходит из центра циклона над Балтийским морем. Фронт разделяет холодную воздушную массу северной части Атлантического океана от теплой воздушной массы, занимающей юг Северной Атлантики и большую часть Европы. Кто победит? Скорее всего, синий участок фронта с острыми треугольниками (холодный фронт) двинется в сторону Европы, неся сюда ветры и похолодание. А над Атлантикой разовьется новый циклон (L (low) — низкое давление), и теплый воздух в его системе устремится к северу.

Давайте поближе познакомимся с атмосферными фронтами. А для этого встанем в точку А на рисунке, изображающем циклон, и позволим ему двигаться на нас. Постепенно мы окажемся в зоне погоды теплого фронта с обложными дождями и снегопадами; пройдет через нас фронт — и погода поменяется, мы окажемся в теплом секторе циклона; потом надвинется суровый холодный фронт с ливнями и грозами, а когда и





он пройдет, выглянет солнце и подует крепкий северный ветер. Вот так мы и увидим, какая погода бывает в циклоне.

Итак, на нас идет теплый фронт. На карте он изображается непрерывной линией, разделяющей холодный и теплый воздух. А в объемном изображении это плоскость, сильно наклоненная к горизонту, по ней теплый воздух «взбирается» на клин холодного, образуя мощные облака.

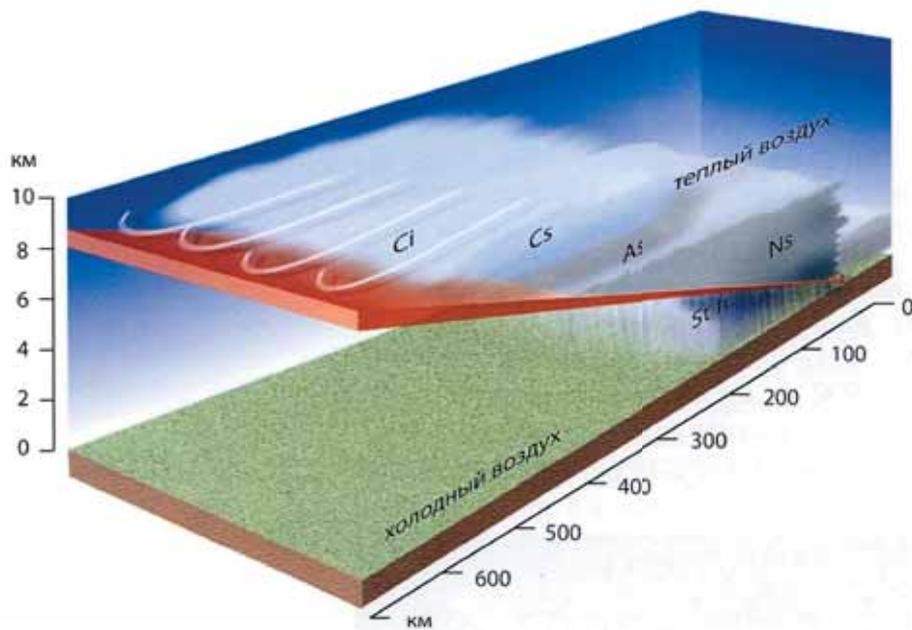
Теплый фронт — источник длительных, затяжных дождей или равномерного, не очень сильного снегопада. При надвигании теплого фронта сначала вы увидите на небе тонкие перистые облака на высоте 8—10 км, они осадков, достигающих земли, не дают, но их появление говорит о том, что через 5—6 часов придут дождевые облака.

Они появятся в виде светло-серой массы, закрывающей все небо, солнце





## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



Теплый фронт. Так он выглядит со стороны точки А на рисунке циклона (художник — А. Андреев). Теплый воздух медленно натекает на клин холодного, оттесняя его. В результате подъема теплого воздуха водяной пар в нем конденсируется и превращается в облака, из которых выпадают длительные дожди или снег. При приближении теплого фронта сначала над вами проплывут

тонкие перистые облака (Cirrus, Ci), затем на небе появится легкая пелена перисто-слоистых облаков (Cirrostratus, Cs), а потом солнце закроется плотными высокослоистыми облаками (Altostratus, As) и мощными слоисто-дождевыми (Nimbostratus, Ns). Вот из них-то и пойдут осадки, сначала в виде мороси, затем как длительный и унылый обложной дождь.

Перистые облака (Cirrus) — предвестники надвигающейся облачности теплого фронта и дождей. Фото А. Андреева.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

через них едва просвечивает. Это высокослоистые облака, занимающие слой атмосферы от 2 до 5 км. Осадки из них выпадают летом в виде мороси — очень мелких, едва ощутимых на лице капель, а зимой как снежные кристаллы.



Постепенно дождь или снег будут усиливаться, потому что на смену высокослоистым облакам придут слоисто-дождевые. Они простираются по высоте от 500—1000 м до 5—6 км, а дождь, выпадающий из них, называется обложным. Он может идти несколько часов, от 7 до 10 с перерывами, в зависимости от скорости движения циклона. Под конец обложной дождь усиливается, превращаясь летом в ливень, а затем резко обрывается — это значит теплый фронт прошел, и вы оказались в теплом секторе циклона.

Г. Нисский. Вечер на Клязьме. 1946 г.  
Дожди теплового фронта приближаются. На небе высокослоистые облака (As), их легко узнать по виду солнца — оно просвечивает как размытое пятно, не имеющее четких границ. Еще час-полтора, и солнце скроется совсем, из высокослоистых облаков пойдет морозящий дождь.

Плотные высокослоистые облака (*Altostratus opacus*), солнца уже совсем не видно, вот-вот начнется морозящий дождь.





За половину суток из облаков теплого фронта может выпасть столько осадков, что тысячи квадратных километров земли окажутся покрыты слоем воды до 14—20 мм. Вроде бы немного, но ведь вода эта должна куда-то деваться. Куда? В городе образуются лужи и ручьи, стекающие в канализацию, за городом же обложной дождь почти целиком уходит в почву, создавая запасы влаги, так необходимые растениям. Конечно, мало радости, когда зарядит нескончаемый обложной дождь, но давайте посмотрим на это шире, напри-

Вслед за высокостристыми облаками приходят мощные слоисто-дождевые облака (Nimbostratus), и морось переходит в более сильный обложной дождь. Он будет идти несколько часов.

мер, с точки зрения сельского хозяйства. Если циклоны и их теплые фронты часто проходят над вами зимой, то образуется мощный снежный покров. При весеннем таянии он в виде воды уйдет в почву, и тогда хороший урожай обеспечен, даже если летом выпадет не очень много дождей. Но если летом





И. Шишкин. Дождь в дубовом лесу. 1891 г. Обложной дождь теплого фронта из слоисто-дождевых облаков (Ns) идет уже давно. Об этом свидетельствуют лужи на тропинке. Однако скоро он закончится — пелена дождя почти скрывает деревья на заднем плане, значит, дождь довольно сильный, а такое бывает перед самым концом осадков теплого фронта.

циклоны по-прежнему будут преобладать, велика вероятность гибели ваших посадок, их вымокания и полного прекращения роста.

Как только закончатся осадки теплого фронта, мы попадаем в теплую воздушную массу. Эта часть циклона называется теплым сектором. Зимой ему часто сопутствуют оттепели.

*Мало света в нашу зиму,  
Воздух темен и нечист,  
Не подняться даже дыму —  
Так он грузен и слоист.*

Эта стихотворная зарисовка поэта К. К. Случевского как нельзя лучше описывает погоду зимней оттепели. Дело в том, что теплый воздух приходит на относительно холодную поверхность

земли, поэтому его температура внизу понижается, а выше 200—300 м по-прежнему остается высокой. Образуется так называемая инверсия, т. е. в некотором слое атмосферы температура начинает расти с высотой, а не падать, как обычно. Слой инверсии температуры еще называют задерживающим, потому что он не пускает приземную влагу, пыль, дым, частицы сажи и другие загрязняющие воздух вещества вверх. Вот почему воздух зимней оттепели в городах «нечист», а еще и «темен» — под инверсией образуются плотные слоистые облака, через которые плохо проходит солнечный свет. Осенью по той же причине — теплый воздух охлаждается от земли — в теплом секторе циклона часто образуются густые туманы.

Летом погода в теплом секторе циклона более разнообразна и зависит от того, откуда втягивается в циклон теплый воздух. Если он приходит из субтропических пустынь, то влажность его невелика, а вот замутненность большая из-за пыли. Такой воздух устойчивый, как говорят метеорологи, т. е. его движения вверх подавлены, и облака образуются слабо. Дождей в устойчивом воздухе, как правило, не бывает.

Если же теплый воздух приходит в европейскую Россию с просторов Атлантического океана и Средиземного моря, то он изначально неустойчивый, и в нем развивается так называемая свободная конвекция. Летним днем земля быстро прогревается, и теплые воздушные пузыри устремляются вверх, к 14—15 часам местного времени образуются высокие, до 8—10 км, кучево-дождевые облака, из которых выпадают сильные кратковременные дожди. С атмосфер-





ными фронтами такие облака и ливни никак не связаны, они образуются в однородной воздушной массе, поэтому и называются внутримассовыми.

Прошла погода теплого сектора, и перед нами самый эффектный синоптический объект атмосферы — холодный фронт циклона! Только метеоролог, пожалуй, может любоваться красотой его необузданной мощи, да еще поэты и художники. А для нормальных людей холодный фронт — источник чуть ли не 80% всех опасных атмосферных явлений в наших широтах. Здесь гроза, град, шквалы, обильные ливни, вызывающие подчас волну внезапных и высоких паводков на реках, а также селевые потоки в горах, сметающие все на своем пути.

Холодный фронт не просто опасен, а еще и коварен внезапностью своего появления. Дело в том, что человек — без метеорологического радиолокатора, без прогнозов погоды и штормовых предупреждений — может, и то в редких случаях, предвидеть его наступление лишь за час-полчаса. Часто же холодный фронт обрушивается совершенно

Что вы подумаете, увидев такое «изделие» на небе? Не иначе как инопланетный корабль! А вот и нет — это чечевицеобразное облако (*Altostratus lenticularis*), которое иногда можно наблюдать при приближении холодного фронта циклона. Еще полчаса-час — и он нагрянет.



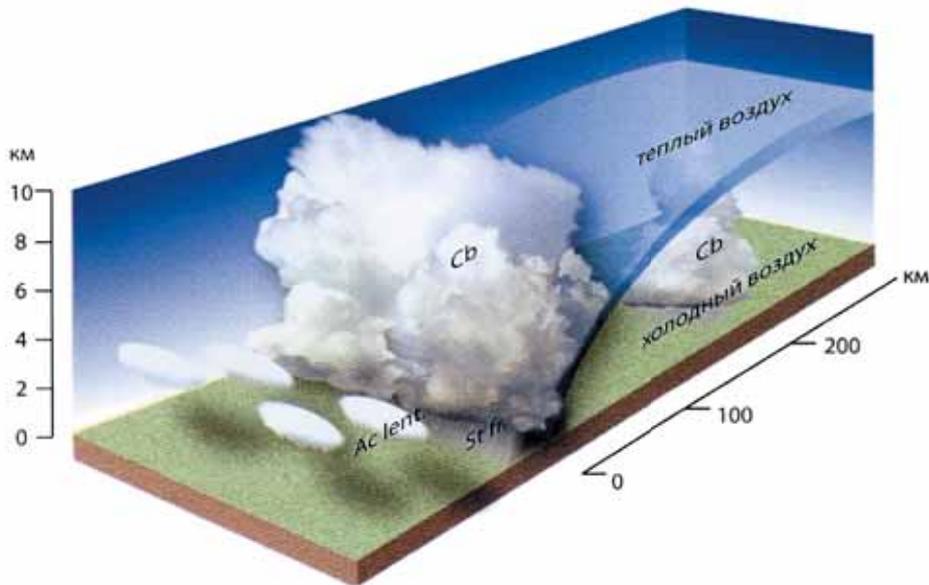


## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

внезапно... Вот теплый фронт задолго «предупреждает» о своем приближении перистыми и перисто-слоистыми облаками, красивым кругом гало вокруг солнца. Здесь все не так: безмятежная погода теплого сектора циклона вдруг нарушается бесцеремонным вторжением косматых и страшных по виду туч, сильным ветром, дождем и градом. Единственным признаком наступления холодного фронта служит появление на небе чечевицеобразных облаков на высоте 3–5 км за 30–60 минут до его прохождения.

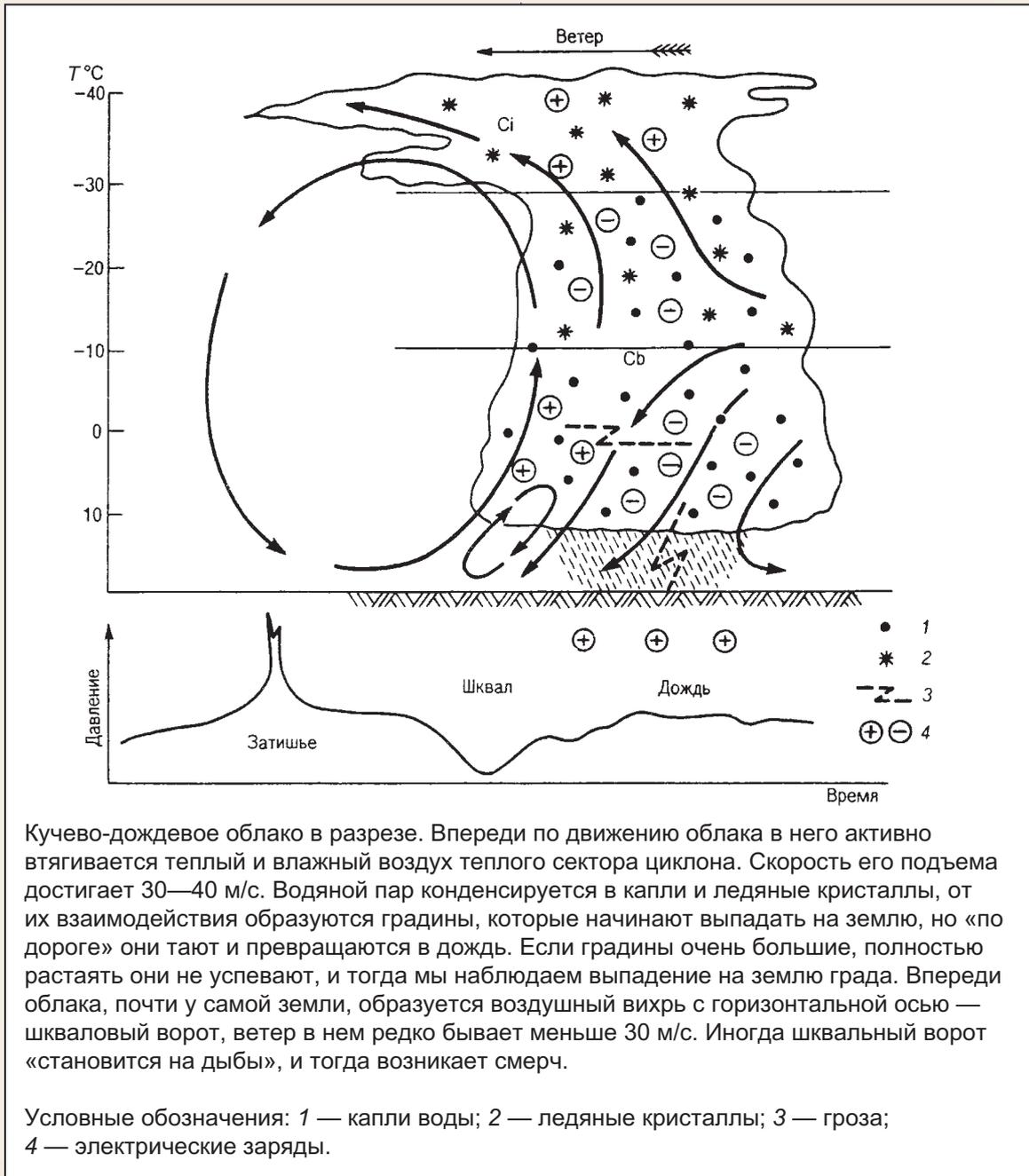
Летом холодный фронт представляет собой непрерывную линию мощных кучево-дождевых облаков, растянувшуюся на сотни километров. Однако ширина облачной полосы гораздо меньше — 30–50 км. Все опасные явления погоды происходят в этой узкой полосе и длятся не более 20–30 минут, но, как говорится, и этого хватит. После кратковременного затишья (помните выражение «затишье перед бурей»?) ударит шквал — внезапно усилится ветер, иногда до 30 и даже 40 м/с, затем прогремит гроза и прольется ливень, который может дать

Холодный фронт. Так он выглядит со стороны точки А на рисунке циклона (художник — А. Андреев). Холодный воздух, стремительно наступая на теплый, вытесняет его прямо вверх. В результате летом на линии фронта образуются кучево-дождевые облака Cumulonimbus (Cb), а зимой — мощные слоисто-дождевые Nimbostratus (Ns). И те и другие дают сильные осадки: летом — ливни, зимой — самые обильные снегопады.





## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

до 100 и более миллиметров осадков, а это уже — наводнение. Нередко бывает и град.

Дожди и снег холодного фронта как внезапно начинаются, так и резко прекращаются. Наступает холодная погода, характерная для тыловой части циклона. Смена типов погоды, да и настроения человека при прохождении холодного фронта очень хорошо подмечены А. С. Пушкиным:

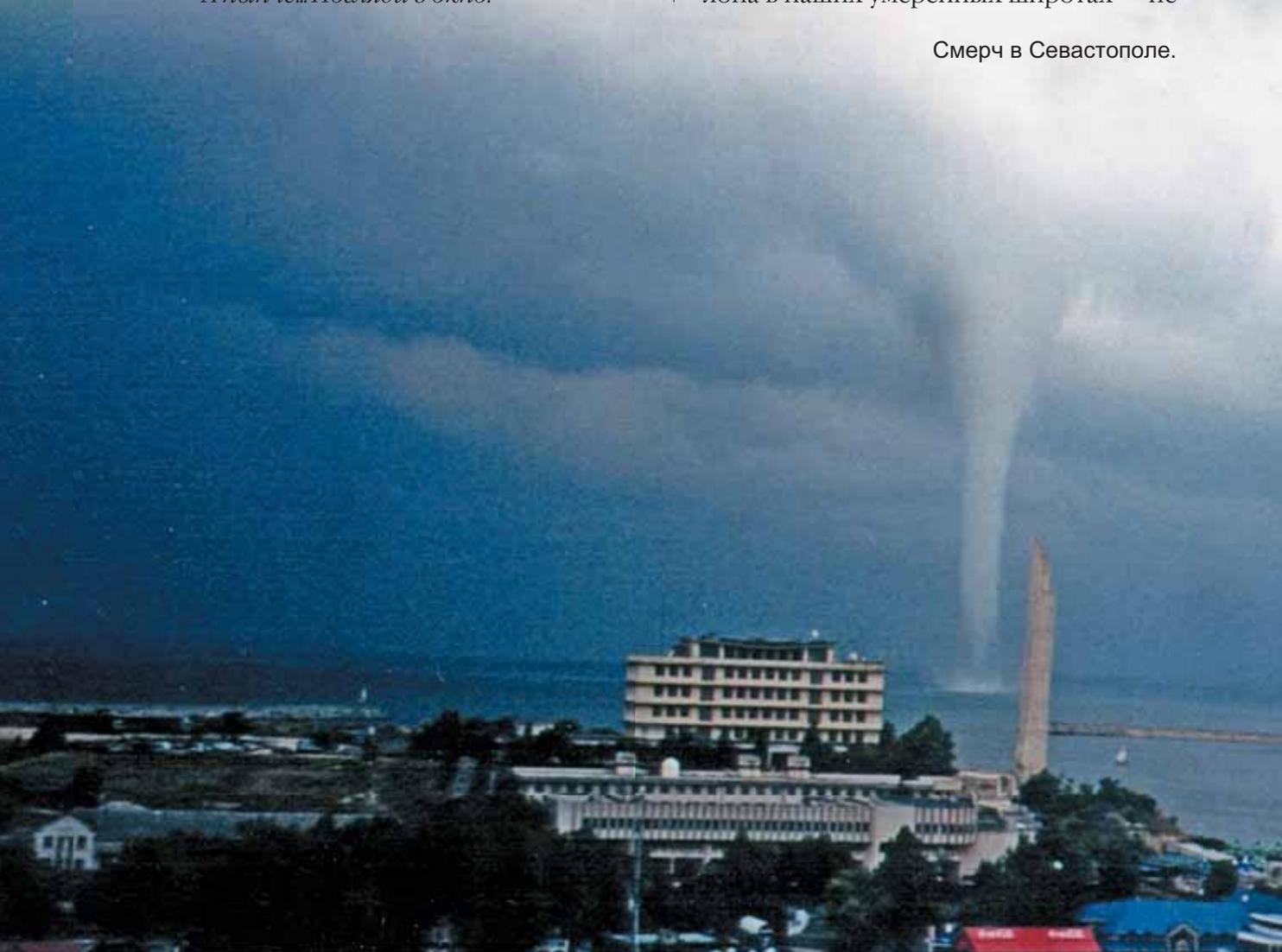
*Вечор, ты помнишь, вьюга злилась,  
На мутном небе мгла носилась;  
Луна, как бледное пятно,  
Сквозь тучи мрачные желтела,  
И ты печальная сидела —  
А нынче... Погляди в окно:*

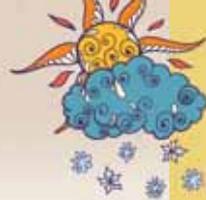
*Под голубыми небесами  
Великолепными коврами,  
Блестя на солнце, снег лежит;  
Прозрачный лес один чернеет,  
И ель сквозь иней зеленеет,  
И речка подо льдом блестит.*

Небо быстро проясняется, ветер не утихает и меняет направление на северо-западное и северное. Часто в холодном воздухе образуются бегущие по небу тонкие слоисто-кучевые или разорванно-слоистые облака. Циклон прошел.

Все, что мы узнали о погоде в циклоне, касается только молодых и активных циклонов, а ведь они не вечны и имеют свой жизненный цикл. Срок жизни циклона в наших умеренных широтах — не

Смерч в Севастополе.

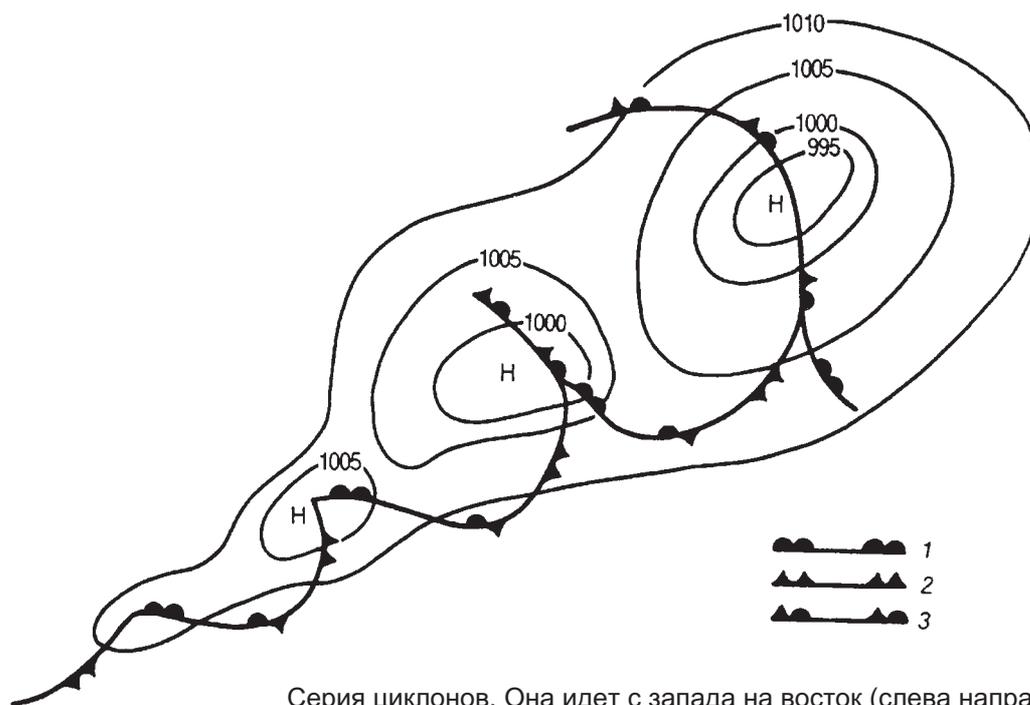




более недели. Что же с ним происходит? А он окклюдируется. Вот что это значит: с момента рождения циклона холодный фронт, как более быстрый, нагоняет теплый фронт, и они соединяются, образуется новый фронт — фронт окклюзии, на котором воздух теплого сектора уходит вверх, пока в циклоне его совсем не остается. Циклон больше не существует. А что же дальше? А дальше на сме-

ну «погибшему» циклону придет другой, более молодой. И весь описанный выше цикл погоды повторится.

Иногда приходится слышать: «Что случилось с погодой? Она прямо сбесилась — то тепло, то холодно!» Все правильно — это циклоны идут один за другим — сериями, — и погода многократно повторяется по одному сценарию, о котором мы с вами только что узнали.



Серия циклонов. Она идет с запада на восток (слева направо) и последовательно проходит над нами. Впереди старый окклюдированный циклон, жить ему осталось менее суток. За ним следует циклон в максимальной стадии развития, теплый сектор его еще достаточно хорошо выражен. Сзади «подпирает» молодой циклон, полный сил. И заключает серию совсем молодой волновой циклон, ему еще жить не менее пяти суток, пока он тоже не окклюдируется, как и его «старшие братья».





И. Шишкин. Лесные дали. 1884 г. Летом для устойчивого антициклона характерны малая прозрачность воздуха, мгла, жаркое марево и белесое небо из-за большой запыленности и высокой температуры. Видно, что второй и третий планы пейзажа теряются в дымке. Дальность видимости не превышает 4—6 км. Так складываются условия для формирования летних засух, подчас жестоких и продолжительных.

Когда пройдет вся серия циклонов, к нам, в умеренные широты, приходит с севера антициклон. Это полностью противоположный циклону воздушный

вихрь: давление воздуха в нем высокое, воздушные потоки вращаются вокруг центра по часовой стрелке с небольшой скоростью и одновременно разбегаются к периферии. Поэтому в антициклоне воздух опускается сверху вниз, и это исключает всякую возможность образования мощных дождевых облаков. Погода в антициклоне тихая, спокойная и, как правило, солнечная. В общем, рай для отдыхающих.

Но не будем спешить с выводами. Антициклоны коварны, они могут принести большие неприятности, а подчас и беды. Это бывает, когда антициклон





## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*

в наших широтах надолго задерживается на одном месте и препятствует обычному ходу вещей — движению циклонов с запада на восток, «не пускает». Вот тогда и возникают опасные аномалии погоды.

Летом это засухи. Воздух в антициклоне и так содержит мало влаги, а постоянная жара совсем сводит ее на нет. Влага в почве истощилась, дождей нет, растения выгорают и гибнут. При слабых засухах сельскохозяйственные растения погибают примерно на 20% территории, охваченной этим явлением, а при очень сильных — на 50% и больше. Летом 2010 г. блокирующий антициклон стоял на месте с середины июня по середину августа. Отклонение от нормы температуры воздуха составило плюс 7,2 °С! Это очень много, учитывая, что аномалия длилась два месяца.

Но когда в одних районах стоит губительная засуха, в соседних своя беда — наводнения. Во время засухи 2010 г. в

Лето 2010 г. было аномальным не только в России, но и в Центральной Европе. Если в России стояла адская жара, то Польшу, Чехию, Венгрию и другие страны затопило. Наводнение в Гливице, Польша.

европейской России над Западной Европой скапливались циклоны, постоянно идущие с Атлантического океана, — им было не пробиться дальше на восток че-

На космическом снимке антициклон у южных берегов Австралии. В безоблачном пространстве штиль, на периферии заметный ветер, вдоль которого вытягиваются легкие высокие облака. Примерно так же все происходит и в блокирующем антициклоне.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



В феврале 2010 г. в Нидерландах замерзли каналы, чего не бывало много лет.

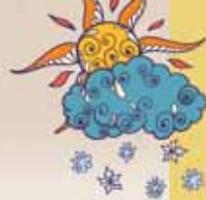
рез «наш» антициклон. И всю свою мощь они отдали Европе, залив ее дождями, значительно превышающими норму. Так что блокирующие антициклоны явление хоть и не частое, но очень разрушительное по своим последствиям.

Зимой в районы умеренных широт, подвергшихся блокированию, приходят большие холода. Они идут по восточной периферии устойчивого антициклона из самого сердца Арктики. Для европейской России это Карское море и дальше к полюсу. Зимой в этих широтах полярная ночь, и охлаждение воздуха максимально. Многим памятен февраль 2012 г., когда в европейской России и части Западной Европы установились сильные морозы. Это тоже было блокирование, но его «сделал» не Арктический антициклон, а Сибирский, распространившийся тогда на всю Евразию. Он остановил атлантические циклоны, несущие нам зимой тепло с океана. Таким образом, сильные холода в коренную Россию приходят

двумя путями: из Арктики и из Сибири. Но это один и тот же процесс блокирования западно-восточного переноса, как говорят метеорологи.

В этой книге мы не затрагиваем долгосрочных прогнозов погоды на месяц и сезон вперед, но все-таки, можно ли предсказать такое опасное явление, как длительное блокирование? После катастрофической засухи лета 2010 г. собрались все ведущие ученые-метеорологи России, чтобы ответить на этот вопрос. И вынесли единодушный вердикт: пока уверенно этого сделать нельзя ни у нас, ни в других странах мира. Длительное блокирование признано самым трудным атмосферным процессом для прогноза. Метеорологи ведут сложные расчеты, чтобы познать его природу, и они непременно найдут решение. Такова логика науки. Мы же с вами займемся прогнозами погоды на 1—5 суток — в этой области за сто лет достигнуты, без преувеличения, большие успехи.





В. Перов. Последний кабак у заставы. 1868 г. Устойчивый антициклон зимой несет с собой сильные холода, особенно если они приходят к нам с северо-востока, из районов Карского моря. Холодный арктический воздух всегда прозрачен, дальность видимости в нем может достигать 50 км, и это хорошо видно на

картине. Дело в том, что изображенный на ней закат солнца совершенно лишен обычных для него красных оттенков, а это бывает только в очень прозрачной атмосфере. Таким образом, перед нами типичная погода зимнего холодного вторжения с температурой воздуха минус 25—30 °С, а то и ниже.

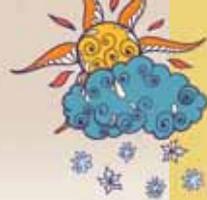


## КАК СИНОПТИКИ ПРЕДСКАЗЫВАЮТ ПОГОДУ

Теперь мы — грамотные метеорологи и знаем, что погода зависит от циклонов, антициклонов и атмосферных фронтов. Чтобы сделать прогноз погоды, нужно только правильно предвидеть их перемещение в пространстве и всякие изменения, которые с ними происходят. Но для начала надо составить представление о том, где они расположены сегодня, т. е. нарисовать синоптическую карту. Нужна постоянно действующая сеть метеорологических станций, нужны средства быстрой передачи информации в метеорологические центры, где составляются прогнозы погоды, нужны опытные синоптики и математики, которые эту информацию проверят, «заправят» в свои компьютеры и получат прогноз. И еще — нужны средства для быстрого доведения прогнозов до нас с вами, до потребителей, нужны специальные штормовые предупреждения — «сообщения-молнии», мгновенно информирующие об особых опасностях погоды.

Немного истории. После блестящих успехов Леверье в составлении первой синоптической карты и пионерских усилий Фицроя в деле практического предсказания штормов во многих странах тоже появились государственные метеорологические службы и институты. Однако синоптическая карта с неумолимой ясностью показывала, что погода не признает государственных границ. И





Генрих Иванович Вильд — швейцарский физик и геофизик, доктор философии Цюрихского университета. В 1868—1895 гг. работал в России. Экстраординарный академик Императорской Санкт-Петербургской академии наук по физике и метеорологии, ординарный академик и директор Главной физической обсерватории (ныне Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова). По инициативе Г. И. Вильда в 1872 г. в Петербурге было открыто бюро погоды. Основал сеть метеорологических станций в Швейцарии и России и организовал обработку метеорологических наблюдений. Основал метеорологические обсерватории в Павловске и Иркутске. Президент Международного метеорологического комитета (с 1879 г.). Председатель Международной полярной комиссии (с 1880 г.).



вот уже в 1873 г. в столице Австрии Вене проходит Первый международный метеорологический конгресс: в метеорологии появилась единая система мер, были установлены единые сроки наблюдений, выработан единый телеграфный код для передачи метеосведений. Очень важно, что все страны согласились на безвозмездный обмен любой информацией, касающейся погоды, независимо от политической обстановки в мире. Получается, что метеорология одно из самых первых бескорыстных направлений развития науки и человечества — берите все бесплатно и пользуйтесь для блага людей!

На конгрессе были заложены основы Всемирной метеорологической организации (ВМО), которая существует и сейчас. Между прочим, первым президентом этой организации был представитель русской науки — Генрих Иванович Вильд. В 1967 г. в системе ВМО была создана Всемирная служба погоды (ВСП). С тех пор она действует беспере-

бойно, но теперь на несравненно более высоком уровне — с метеорологическими спутниками, радарами, мощными компьютерами, каналами связи высокой производительности, с развитой системой научных исследований и прогностических центров. У ВСП три главные задачи, которые вылились в три направления ее деятельности:

- глобальная система наблюдений,
- глобальная система телесвязи,
- глобальная система обработки данных (включая и прогнозы погоды).

Вот мы и посмотрим, как они действуют, пройдем всю цепочку, от метеоролога-наблюдателя на далекой станции до Гидрометцентра России в Москве, где составляются прогнозы погоды для всего земного шара.

В систему наблюдений входят несколько видов сбора информации. Первый и по-прежнему главный — наблюдения на метеостанциях. Как же так, скажете вы, а спутники, а радары? До них мы еще доберемся, а вот, например,





Виктор Антонович Бугаев — видный советский ученый, метеоролог. Директор Центрального института прогнозов (1959 г.), директор Гидрометцентра СССР (1959—1973 гг.). Внес большой вклад в развитие Гидрометеослужбы России. Совместно с известным американским метеорологом Г. Векслером разработал важнейший международный проект «Всемирная служба погоды», который по настоящее время является основой оперативных прогнозов погоды во всем мире.



Гарри Векслер — известный американский метеоролог, один из основателей «Всемирной службы погоды». Первый ученый, принимавший участие в полете сквозь ураган для сбора научных данных. Известен своими работами по использованию космических аппаратов в метеорологических целях, внедрению компьютерной техники в синоптику и метеорологию. Одним из первых начал изучать процессы разрушения озонового слоя.





форму наблюдаемых облаков, что очень важно для прогноза дождя и снега, ни один прибор не определит, только человек. Он же измерит атмосферное давление, температуры воздуха и почвы, количество выпавших осадков и много чего еще. Кроме того, наблюдатель между сроками наблюдений не спит, все интересное и важное он зафиксирует и вставит в телеграмму о погоде.

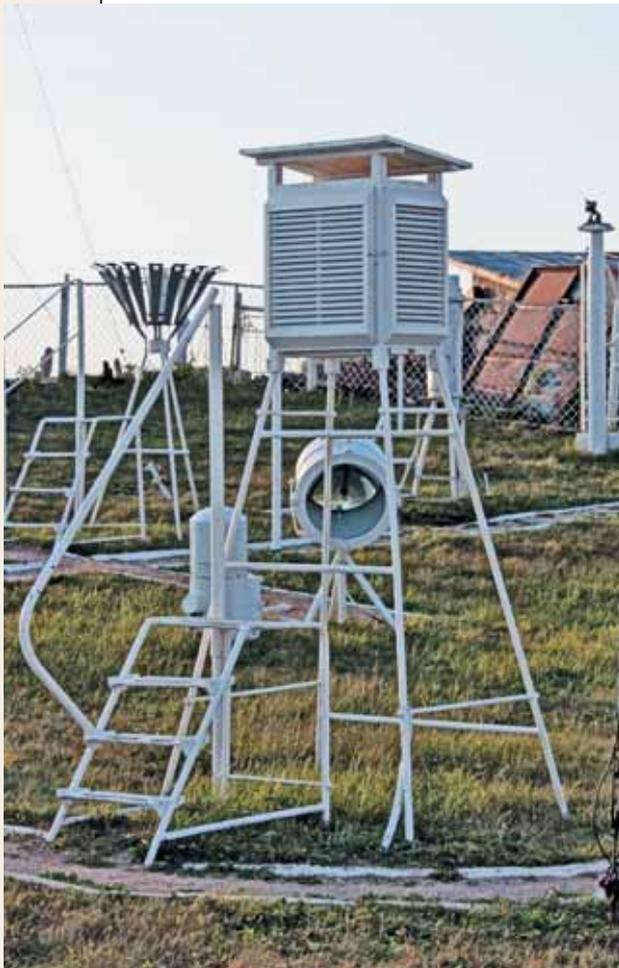
Существует восемь обязательных сроков наблюдений: в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час по среднему мировому времени (Гринвичскому). Для больших,

Глобальная система наблюдений за состоянием природной среды. На суше (зеленый фон) работают наземные (метеорологические) станции, аэрологические станции, выпускающие шары-зонды, погодные радары и автоматические станции наблюдений. По морям-океанам ходят исследовательские корабли и плавают океанологические буйковые станции. В космосе летают орбитальные и геостационарные спутники. Вся информация с разных систем наблюдений оперативно поступает в прогностические центры.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Оборудование метеорологической станции. На первом плане — метеорологическая будка, где расположены термометры и гигрометры (измерители влажности). Слева — измеритель количества осадков в виде раскрытого цветка. Справа, на столбике, — гелиограф, отмечающий продолжительность солнечного сияния, т. е. часы хорошей погоды.

глобальных прогнозов погоды используются в основном наблюдения в 00 и 12 часов. А остальные зачем? Они нужны для составления прогнозов по небольшим территориям и отдельным городам, а также складываются в архивы данных, необходимые для научной работы, в частности для изучения изменений климата.

Как только наблюдатель записал данные всех измерений и наблюдений, он составляет телеграмму и отправляет ее в прогностический центр. Метеорологические телеграммы — шедевр кодирования: они напоминают шпионские донесения, где в немногих цифрах содержится много информации. Давайте посмотрим на такую телеграмму и объясним, что означает каждая из групп кода:

**01121 33553 82910 10157 20123 40108  
53038 60122 72798 88530**

Как видите, она весьма компактна — в ней лишь 50 цифр. Расшифруем ее:

01121 — 1-го числа в 12 ч (первые 4 цифры, год и месяц не указываются),  
33553 — в Нижнем Новгороде (международный номер метеостанции),  
82910 — общая облачность 8 баллов, ветер северо-западный, 10 м/с,  
10157 — температура воздуха 15,7 °С,  
20123 — точка росы (температура, при которой возникает туман) 12,3 °С,  
40108 — давление воздуха 1010,8 гПа,  
53038 — за последние 3 часа рост давления составил 3,8 гПа,  
60122 — за последние 12 часов выпало 12 мм осадков,  
72798 — за час до срока наблюдений была гроза с градом и ливнем,  
88530 — отмечались слоисто-кучевые и высококучевые облака.





Павел Александрович Молчанов — изобретатель первого в мире аэрологического зонда, поднявшегося в небо 30 января 1930 г. в городе Павловске под Ленинградом. Радиозонды позволили метеорологам увидеть атмосферные процессы в трехмерном измерении. А ранее они только «ползали по земле», наблюдая атмосферу по приземным наблюдениям.

С 1935 г. в Ленинграде было начато серийное производство радиозондов. Они были настолько совершенны технически, что использовались без каких-либо существенных изменений до 1958 г., обеспечивая высокую точность измерений, их регулярность и стабильность.

Очень многие современные методы прогноза погоды основаны на высотных наблюдениях за поведением атмосферы.

Уточним, что гПа — это гектопаскалы, метеорологические единицы давления, мы уже встречались с ними. Миллиметры ртутного столба специалистами давно не употребляют, но в прогнозах погоды говорится о них — более привычных для людей. В этом словесном сообщении около 500 знаков. Выходит, кодовая форма передачи метеоинформации в десять раз экономичнее словесной.

К наземным метеорологическим станциям еще можно отнести станции аэрологического зондирования атмосферы, где дважды в сутки (в 00 и 12 часов по Гринвичу) выпускаются большие воздушные шары, накачанные гелием.

Запуск радиозонда.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

К ним привязываются метеорологические зонды, автоматически сообщающие на землю давление, температуру и влажность воздуха на разных высотах в атмосфере. Локатор, следящий за зондом, позволяет вычислить и ветер, его направление и скорость. В 1950-х гг. внедрение аэрологического зондирования сыграло огромную роль в повышении качества метеопрогнозов.

Постоянно действующие метеостанции в густонаселенных районах Земли расположены на расстоянии 50—100 км одна от другой, в слабонаселенных районах, например в центре Восточной Сибири, — это расстояние составляет 200—300 км, а в Центральной Африке — все 500 км. Но все-таки на суше никто не мешает построить новые станции, а вот как наблюдают за погодой в океанах, занимающих 71% поверхности Земли?

Самое лучшее — это специальные научно-исследовательские корабли, имеющие высококвалифицированный состав

наблюдателей, но они не могут постоянно находиться в плавании, да и задачи у них не оперативные, а скорее научные. Вот бы завести постоянную сеть кораблей в океанах, оперативно сообщающих погоду... Метеорологи с этой задачей справиться вряд ли могут — очень велики затраты на такую сеть. Но, как говорится, не было бы счастья, да несчастье помогло. В 1948 г. в Северной Атлантике действительно возникла сеть станций из девяти кораблей, но организована она была... Международной организацией гражданской авиации.

Дело в том, что в это время начались регулярные полеты пассажирских самолетов из Европы в Америку и обратно. Авиационная техника и приемы навигации были не такими совершенными, как сейчас. Требовалась поддержка самолетов с земли (вернее, с воды). Расставленные в постоянных точках океана, эти корабли должны были в любую погоду выполнять целый ряд сложных задач:



Научно-исследовательское судно «Академик Иоффе». Фото В. Морозова. Специализированных метеорологических кораблей не так много, основную нагрузку по наблюдениям в морях и океанах несут коммерческие, военные, рыболовные и пассажирские суда. В обязанности их штурманского состава входят наблюдения за атмосферой и морем четыре раза в сутки. Прогностические центры получают сотни телеграмм с метеорологическими данными за каждый срок наблюдений.





держаться как можно точнее на одном месте, служить активными радиомаяками для пересекающих океан самолетов, в случае вынужденной посадки воздушных гигантов на воду (а это порой случалось!) проводить операции по спасению людей и, наконец (что очень важно для нас), каждый час сообщать в эфир сводки метеорологических наблюдений и дважды в сутки выпускать радиозонд. За это и повелось называть их судами погоды.

А плавание на судах погоды — не такое уж удовольствие! Есть большая разница между случайной встречей со штормом в трансатлантическом рейсе, как это бывает с торговыми судами, и необходимостью торчать на одном месте неделю за неделей, не имея права уйти от центра бури... Например, на станции Альфа в южной части Датского пролива палубной команде порядочно доставалось в зимнее время, когда им круглые сутки приходилось скалывать лед, накапливающийся на палубе и надстройках. На станции Индия между Шотландией и Исландией моряков часто трепала свирепая волна с траверза, т. е. в борт, а эта качка самая противная. Некоторым судам приходилось по трое суток дрейфовать с работающими машинами только для того, чтобы удержаться носом к волне и уцелеть. Станция Джульетт была расположена на главном воздушном пути в Соединенные Штаты и Канаду. Об этой станции английский радист Джонс рассказывает: «Здесь невероятно интенсивная радиосвязь между морем и воздухом. Я вспоминаю, как в течение пяти минут пришлось вести переговоры с восемью летчиками различных национальностей». Одно время



Василий Алексеевич Белинский — основатель динамической метеорологии, являющейся базой для современных математических прогнозов погоды. Основал Московский (впоследствии Ленинградский) гидрометеорологический институт — кузницу кадров синоптиков-прогнозистов.

станцию Чарли в самом центре Северной Атлантики обслуживали корабли Советского Союза.

Какие бы трудности ни приходилось преодолевать судам погоды, их информация была бесценна — ведь погода в Европу и западную часть России идет





Советский орбитальный метеорологический спутник «Метеор-М».

с запада, из Атлантики. И метеорологи многих стран снимают шапку перед этими мужественными моряками... Однако всему рано или поздно приходит конец — в начале 1970-х гг. сеть кораблей погоды распалась, трансатлантические воздушные лайнеры стали более надежными, и такая поддержка им больше не требовалась.

Что делать? Метеорологи пошли двумя путями, которые благополучно развиваются и сейчас. Во-первых, стал активно увеличиваться сбор данных с попутных судов — военных, грузовых, пассажирских, рыболовецких, которые обязаны производить метеорологические наблюдения четыре раза в сутки. Во-вторых, в последнее десятилетие в океанах появились многочисленные автоматические станции — морские

буи-поплавки, передающие данные на «большую землю». Таким образом удалось не только восполнить потерю сети судов погоды, но в сотни и тысячи раз превзойти количество собираемых с океанов данных.

А теперь полюбуемся ясным ночным небом... Не пройдет и 15 минут, как вы увидите среди неподвижных созвездий крохотную звездочку, быстро летящую с юга на север или, наоборот, с севера на юг. Это искусственный спутник Земли, находящийся на полярной орбите, — еще их называют орбитальными. Высота их полета — обычно 900 км над Землей, время обращения вокруг планеты — полтора часа. Сейчас ближний космос буквально набит орбитальными спутниками, выполняющими самые разные задачи — от шпионских до экологических. Среди них есть и спутники метеорологические. Можно даже сказать, что в основе практического освоения космоса лежат именно метеорологические задачи.

Однако орбитальные спутники не могут обеспечить полный обзор Земли. Дело в том, что ширина «дорожки», доступной для фотографирования со спутника, не превышает 2500 км, и если в полярных и умеренных широтах спутник виток за витком покрывает всю территорию, то в тропиках между «дорожками» возникают просветы, недостижимые для наблюдений. Это происходит оттого, что расстояние между меридианами, вдоль которых спутники и летают, сильно увеличивается от полюсов к экватору. На помощь приходит другой вид спутников — геостационарные.

Геостационарные спутники запускают на орбиту строго вдоль экватора





и на высоту ровно 35 500 км. При этом угловая скорость вращения спутника вокруг Земли должна точно совпадать с угловой скоростью вращения Земли вокруг своей оси. А это означает, что такой спутник будет постоянно висеть над одним и тем же районом Земли, поэтому он и называется геостационарным. Достаточно четырех-пяти геостационарных спутников, чтобы покрыть наблюдениями все тропики и ликвидировать разрывы в наблюдениях спутников орбитальных.

Виды наблюдений со спутников разнообразны. Это телевизионные изображения облачности в видимых лучах спектра, которые очень полезны для об-

Американский метеоспутник GOES-8.

наружения циклонов, прослеживания их движения, для анализа изменений фронтальной облачности и даже для расчета скорости и направления ветра. Это также изображения Земли в разных диапазонах инфракрасных (тепловых) лучей: они позволяют рассчитать температуру облачности и поверхности Земли, определить, сколько влаги содержится в атмосфере, а в ряде случаев — рассчитать распределение температуры воздуха и количества влаги в атмосфере на разных высотах. Метеорологи прошлого не могли и представить себе, какой информацией будут владеть их потомки.





Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Вид Земли с геостационарного спутника. Таких спутников над экватором Земли несколько. Вот этот спутник постоянно висит над Индийским океаном. Геостационарные спутники предназначены для

сбора информации в основном из тропических районов, от 40° с. ш. до 40° ю. ш. Вместе с орбитальными спутниками они обеспечивают полный обзор всей нашей планеты.





## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*

Спустимся теперь с высот космоса на землю и вспомним, что среднее расстояние между метеорологическими станциями достаточно большое, от 50—100 до 500 км. А теперь представим, что между двумя станциями развивается мощное кучевое облако диаметром 10 км, чреватое такими опасными явлениями погоды, как гроза, сильный ливень, град и шквал. Ни тот, ни другой наблюдатели облака не видят и не могут сообщить об опасности. Как быть? Спутники, скажете вы, — им сверху видно все! Правильно. Но только орбитальные спутники появляются над конкретным районом раз в 6 часов, а

гроза развивается за 1—2 часа. Они могут не успеть ее засечь. Кроме того, аппаратура далеко не всякого спутника способна обнаружить такие мелкие по масштабу явления, как гроза и ливень, а о граде и говорить нечего. Значит, нужно еще одно средство наблюдений, которое бы непрерывно во времени и пространстве, а значит, мгновенно регистрировало явления среднего и малого масштабов.

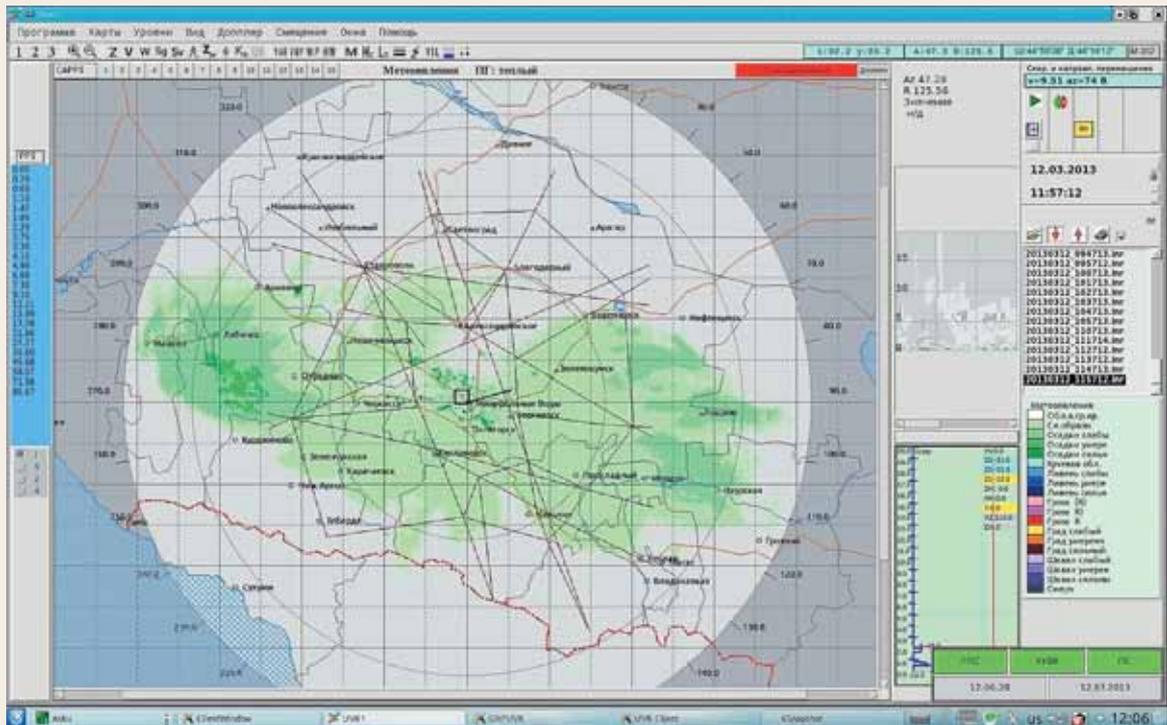
Такое средство есть, и называется оно метеорологическим радиолокатором. Он начал служить метеорологии рань-

Метеорологический радиолокатор.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Изображение облачности и осадков на экране метеорологического радиолокатора. Местоположение локатора — город Минеральные Воды на Северном Кавказе. По данным локатора можно установить, что проходит атмосферный фронт, выраженный сплошной полосой осадков. Светло-зеленый цвет — слабый дождь, морось, темно-зеленый — обложной дождь.

ше, чем спутники, и предназначен для обнаружения капризов «малой погоды» здесь и сейчас. В каждом достаточно большом аэропорте, в большинстве крупных городов есть у метеорологов это бесценное средство. Именно с помощью данных, полученных с таких ло-

каторов, составляется не менее 50% всех штормовых предупреждений о надвигающейся опасности, предупреждений за 1—3 часа до разгула стихии.

Итак, сейчас в распоряжении метеорологов пять источников оперативной информации о состоянии атмосферы: метеорологические станции, аэрологические станции, судовые и буйковые наблюдения в океанах, метеорологические спутники и радиолокаторы. Остается лишь освоить всю эту информацию, т. е. вовремя получить и обработать. И вот здесь вступает в действие второй блок Всемирной службы погоды — глобальная система телесвязи.

Информация ценна только тогда, когда она поступила вовремя. Пусть





иногда в ней будут ошибки, мы это все проверим и исправим, главное, чтобы информация приходила без опоздания, иначе она будет бесполезна для прогноза погоды. Считается, что с момента наблюдений даже на самой отдаленной станции до получения телеграмм в прогностическом центре должно пройти не более 3,5 часа. Как достигается такая скорость?

Любое сообщение от источника информации сначала идет в национальный или территориальный метеорологический центр. Например, для северной части европейской России — это Петербург. Далее территориальный центр посылает пакет телеграмм в свой региональный центр, которых в России три — Москва, Новосибирск и Хабаровск. В Европе их шесть, они находятся в Стокгольме, Брекнелле (Великобритания), Оффенбахе (Германия), Париже, Праге и Риме. Наконец, вся информация поступает в мировые метеорологические центры, их на Земле тоже три:

Москва отвечает за восточную половину Северного полушария, Вашингтон — за западную его половину, Мельбурн в Австралии собирает информацию со всего Южного полушария планеты.

Итак, вся информация о состоянии атмосферы собрана. Вступает в действие третий блок Всемирной службы погоды — глобальная система обработки данных, включая прогнозы погоды. Как делаются эти прогнозы, мы увидим чуть позже, а сейчас проследим путь уже готовых прогнозов.

Первыми начинают работать мировые центры, их задача — рассчитать движение циклонов и антициклонов на несколько суток вперед для всего земного шара и дать обобщенные прогнозы погоды для больших территорий. В этой работе участвуют сейчас и другие крупные расчетные центры, например Европейский центр среднесрочных прогнозов в Рединге (Англия). Как только глобальные прогнозы готовы, они рассылаются в региональные центры, и здесь на их



Гурий Иванович Марчук — выдающийся советский ученый, специалист в области вычислительной математики, физики атмосферы, геофизики, академик, последний президент Академии наук СССР (1986—1991 гг.).

Один из авторов идеи ядерного щита нашей Родины. Увлечен проблемами долгосрочного прогноза погоды и предложил метод математического решения уравнений гидродинамики, позволяющий предвидеть изменения погоды на месяцы вперед. Идеи Марчука развиваются сейчас для решения проблемы долгосрочного прогноза погоды.





основе составляются детальные прогнозы погоды по странам, областям и городам. Именно эти прогнозы чаще всего транслируются по радио, телевидению, распространяются в Интернете и печатаются в газетах. Наконец, местные бюро погоды вносят в региональные прогнозы свои коррективы с учетом влияния на погоду местных особенностей (горы, близость моря и т. п.).

Вот так работает Всемирная служба погоды. Однако сегодня она не является монополистом в деле прогнозов, существуют и другие «конторы», которые составляют свои, независимые прогнозы. Ну что ж, конкуренция вещь полезная. Но цена этой независимости невелика — данные для прогнозов они черпают все из той же Всемирной службы погоды. Откуда же еще? Ведь государствам — участникам ВСП принадлежит вся сеть наблюдений, и они пользуются самыми мощными компьютерными возможностями. Прогноз погоды — это совместный труд тысяч специалистов, и 10—20 «независимых» прогнозистов самостоятельно ничего нового создать не могут. Разве что обслуживать по заказу отдельных потребителей. Поэтому самое разумное — пользоваться официальными прогнозами прогностических центров ВСП, у нас это Гидрометцентр России в Москве, региональные центры в Новосибирске и Хабаровске, а если нужна подробная местная погода, есть 23 управления Гидрометслужбы от Калининграда до Владивостока.

Вот теперь приступим и к самим прогнозам, посмотрим, как они делаются. В принципе, имея исходные синоптические карты погоды, метеоролог может рассчитать будущее положение цик-



Сергей Петрович Хромов — советский метеоролог и климатолог, основоположник отечественной фронтологической синоптики.

Автор первого в СССР учебника «Синоптическая метеорология», по которому учились прогнозировать погоду многие поколения российских синоптиков. Фронтологический анализ атмосферных процессов до сих пор остается основой для краткосрочных прогнозов погоды.

лонов, антициклонов и атмосферных фронтов вручную, пользуясь выработанными наукой правилами их движения. Однако время ручной работы давно прошло, и будущая погода вычисляется с помощью математических уравнений,





## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*

отражающих физические законы движения атмосферы. Эти уравнения называются гидродинамическими и образуют систему, которая является физической моделью атмосферы, математическим отражением современных знаний о структуре и жизни атмосферы. Со временем модель может изменяться, потому что знания все время накапливаются.

В зависимости от размеров области прогноза гидродинамические модели бывают глобальными, полусферными

(половина земного шара), региональными и локальными — для совсем небольшого участка Земли. Но расчеты по ним ведутся примерно одним и тем же методом. Посмотрите на рисунок с уравнениями глобальной модели. Вы сразу скажете, что решить такую систему уравнений очень сложно, и будете правы. Дело даже не в том, что уравнений много, что очень много исходной информации надо вложить в эту модель (вы же видели, сколько источников данных

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\alpha}{r \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + F_\lambda + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right)(v \sin \varphi - w \cos \varphi)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\alpha}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + F_\varphi - \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right)u \sin \varphi - \frac{vw}{r}$$

$$\frac{dw}{dt} = -\alpha \frac{\partial p}{\partial r} - g + F_r + \left(2\Omega + \frac{u}{r \cos \varphi}\right)u \cos \varphi + \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{ds}{dt} = C_p \frac{1}{\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{T} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v})$$

$$\frac{\partial \rho q}{\partial t} = -\nabla \cdot (\rho \mathbf{v} q) + \rho(E - C) \quad p\alpha = RT$$

Система гидродинамических уравнений, с помощью которой рассчитывается погода на будущее. Несмотря на видимую сложность уравнений, все они выражают простые физические законы, знакомые со школы, но написанные применительно к земной атмосфере. Первые три уравнения называются уравнениями движения и отражают второй закон Ньютона  $F = ma$  для ветра в трех координатах — широта, долгота и высота. Следующее уравнение есть не что иное, как Первое начало

термодинамики, или просто закон сохранения энергии. Два следующих — уравнения непрерывности, которые говорят о том, что «природа не любит пустоты», сколько вытекло жидкости или газа из объема, столько должно в него и втечь. Наконец, последняя формула тоже из школьной физики — это газовое уравнение состояния. Так что понять, какие законы управляют движением атмосферы, вполне можно, а вот решить эту систему уравнений — сложно.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

существует). Дело в том, что компьютер умеет только складывать и вычитать числа, а в решении системы уравнений придется еще умножать, делить и возводить числа в степень. Математики придумали, как заменить сложные действия на простые арифметические — сложение и вычитание. Это называется численным решением, но оно очень удлинняет процесс счета — вместо одного действия, например возведения в квадрат, компьютеру придется сделать сотни и тысячи простых арифметических действий, в зависимости от сложности того, что в этот квадрат возводится.

А сколько же надо сделать таких действий, чтобы решить систему гидродинамических уравнений? Исходные данные для современных математических моделей атмосферы задаются в «квадратиках» размером  $20 \times 20$  км по всему земному шару, при этом используются 100 уровней атмосферы по вертикали, итого получается, что систему уравнений надо решить для 32,5 млн точек! Но этого мало, за один «прогон» решить

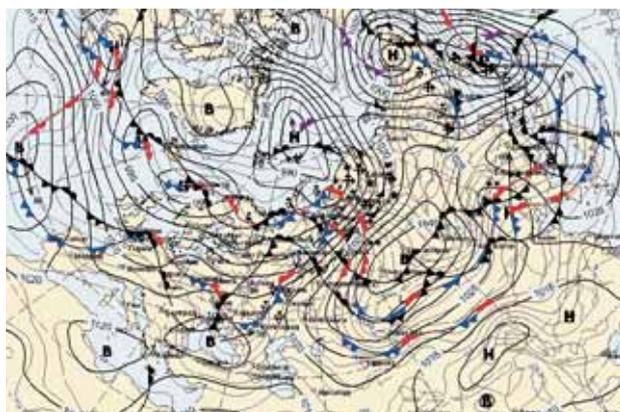
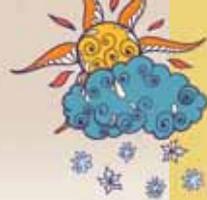
не получится, надо считать прогноз на 10 минут вперед, потом еще на 10 минут и т. д., иначе ничего не получится (есть такая особенность численного решения атмосферных уравнений). Для прогноза на сутки таких «прогонов» потребуется 144. Вот теперь и считайте, сколько простых арифметических действий надо сделать. Вряд ли кто ответит на этот вопрос, но специалисты дружно скажут, что никакому ноутбуку это не под силу.

На помощь приходят суперкомпьютеры. Что это такое? Ваш ноутбук содержит от одного до нескольких отдельных процессоров — ядер. А в суперкомпьютере их насчитывается несколько тысяч, они разбивают большую задачу на отдельные блоки и параллельно их решают. В Вычислительном центре Росгидромета в Москве суперкомпьютер состоит из 1664 индивидуальных процессоров. Это не так много на мировом уровне. Бывший СССР прилично отстал от Запада в деле кибернетики, которая одно время даже презрительно именовалась буржуазной наукой. В США метеороло-



Современный синоптик. Анализ и прогноз положения атмосферных фронтов на синоптических картах. Ни один компьютер не справится с такой задачей, только человек. На нижних мониторах карты атмосферных фронтов — фактические на сегодня и прогностические на завтра. Сверху спутниковые данные об облачности и температуре воздуха.





Синоптическая карта прогноза положения циклонов (Н) и антициклонов (В) на сутки вперед. Черные линии с фестончиками — исходное положение атмосферных фронтов. Цветные линии — будущее, прогностическое положение фронтов, красные — теплые фронты, синие — холодные. Чтобы получить прогностическое положение фронтов, синоптик «передвигает» их в соответствии с картой будущего давления и ветра.

гический суперкомпьютер состоит из 4992 процессоров, в Европейском центре среднесрочных прогнозов — из 8320 таких ядер. Теперь Россия наверстывает упущенное, и качество наших прогнозов начинает приближаться к западным. Вот так суперкомпьютеры помогают метеорологам справляться в реальные сроки с непосильной, казалось бы, задачей математического прогноза погоды. Давайте посмотрим, как вычисляется погода в Гидрометцентре России, одном из трех Мировых метеорологических центров. Имеющийся там суперкомпьютер позволяет делать 11 тысяч миллиардов простых арифметических операций в секунду. Умом этого все равно не понять, поэтому обратим внимание на время, за которое метеорологи успевают сделать прогноз погоды на 5 суток вперед. Расчет прогноза, или, как говорят, интегрирование уравнений гидродинамической модели, занимает 35 минут. Еще 10 минут уходит на графическое представление прогноза — карты будущего расположения циклонов и антициклонов. В течение

30 минут происходит автоматическая рассылка результатов прогноза в региональные и другие центры, подготавливающие местные прогнозы погоды. Итого всего 1 час 15 минут.

За это время компьютер решает одну из самых важных задач прогноза погоды — вычисляет будущее расположение циклонов и антициклонов, их движение, затухание или развитие. Остается нанести на карту будущее положение атмосферных фронтов — именно они, как мы знаем, формируют погоду и позволяют составить прогноз температуры воздуха, скорости и направления ветра, осадков и опасных явлений. И вот здесь компьютер пасует! Не умеет он анализировать атмосферные фронты, слишком сложно это для него. Нужен интеллект человека, и синоптик приходит на помощь машине — он сам наносит фронты и сообщает информацию компьютеру. Ну а дальше все просто: компьютер выдаст ход погоды на 3—5 суток вперед по любой области, району и городу, которые вы закажете.





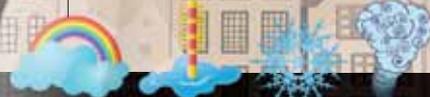
## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

Вот так предсказывают современные синоптики погоду. Конечно, прогнозы мировых и региональных центров уточняются, как говорится, на местах. Допустим, синоптик на периферии получил прогноз, что в его районе пройдут дожди интенсивностью 5 мм осадков в час. Но он знает, что южные ветры направят дождевую облачность

на гору, о которой в центрах и понятия не имеют. Это означает, что количество местных осадков резко увеличится и надо будет давать штормовое предупреждение о паводках на реках... Как бы хороши ни были суперкомпьютеры, а без человека, без синоптика точного прогноза погоды не сделать. Союз компьютера и человека — залог успехов в прогнозировании погоды.

А все-таки каких успехов мы достигли в прогнозах погоды? Прежде чем ответить на этот вопрос, посмотрим, как обычные люди, потребители прогнозов, к ним относятся. Сразу же вспоминаются анекдоты и присказки про синоптиков: то ли дождик, то ли снег, то ли будет, то ли нет. Мол, сами не уверены, а нам говорите. Почему так оценивается колоссальная работа Гидрометслужбы? Открою вам большой психологический секрет: люди интуитивно понимают, что прогноз погоды — это очень сложно, это почти от Бога, а значит, раз синоптики на это решаются, они решаются разгадать Промысел Божий. Поэтому подкалывания синоптиков никогда не бывают злобными, а скорее добродушными и даже с элементами тайной зависти к тем, кто на такое отважился.

Второй психологический секрет. Если мы оцениваем чьи-то чужие прогнозы, то промахи отмечаются гораздо охотнее, чем правильные предсказания. В самом деле, рассуждает человек, вы — синоптики, знатоки, вам за это деньги платят, поэтому в правильных прогнозах нет ничего необычного. А вот неудачные прогнозы запоминаются надолго: у кого-то сорвался полет за границу, кто-то попал в ДТП из-за не предсказанного гололеда, еще один сломал руку, поскольку





Наши предки лишь догадывались, что свирепые штормы приходят с какими-то атмосферными вихрями. Теперь мы видим это воочию: небольшой, но очень активный циклон обрушился на Шотландию 8 декабря 2011 г. Насыщенный штормовыми облаками холодный воздух циклона надвигается на страну, как огромный танк, неся бедствия и разрушения.

знувшись, другие выехали на пикник и попали под дождь. Это только личные потери, а если взять всю промышленно-транспортную инфраструктуру?

И тем не менее люди всегда ждут прогнозов погоды...

«Единственная особенность москвичей, которая до сих пор остается мной не разгаданной, — это их постоянный, таинственный интерес к погоде...

— Тише! — вскрикивает вдруг кто-нибудь и поднимает голову к репродуктору. — Погоду передают!

Все, затаив дыхание, слушают передачу...»

Это образец доброго юмора замечательного писателя Фазиля Искандера. Но в нем немало истины — значит, люди верят в прогнозы погоды!

Теперь и посмотрим, насколько люди правы, насколько точны прогнозы погоды. Вот объективные цифры. Прогноз погоды на одни сутки вперед оправдывается в 90—95% случаев. На двое суток — в 85—90%. А вот на неделю — уже в 80% случаев. Это предел надежности синоптических прогнозов. Известно, что предсказания можно считать успешными, если они оправдываются не менее чем на 80%. Именно поэтому наша





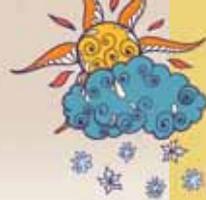
Из тропической Атлантики к побережью Северной Америки часто приходят циклоны невиданной у нас силы. На снимках два эпизода из жизни урагана «Катрина». За несколько дней он успел нанести огромный ущерб хозяйству и унести жизни многих людей.



книжка посвящена краткосрочным прогнозам погоды, где наука достигла реального успеха. Долгосрочные прогнозы на месяц и сезон (на 30—90 дней) гораздо менее надежны — их точность не превышает 65—70%. Здесь пока идут научные поиски решения задачи.

И все-таки почему синоптики иногда ошибаются, ведь на их совести 5—10% неудачных прогнозов?.. Представим себе малоподвижный атмосферный фронт, к северу от него температура воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$ , к югу  $+5^{\circ}\text{C}$ . В течение недели он «шатается» от Клина до Подольска и обратно без всякой видимой закономерности. И в Москве температура непредсказуемо меняется — то оттепель, то морозы. Наука





еще не может предсказать такие незначительные движения фронта.

Второй пример трудной для прогноза ситуации: уже упоминавшаяся двухмесячная засуха на европейской территории России летом 2010 г. Ни начало, ни конец блокирования западного переноса наука пока не может предсказать. Остается одно — исследовать и изучать, пока мы не решим все вопросы, задаваемые природой...

За 150 с небольшим лет от создания первой оперативной синоптической карты прогностическая метеорология достигла неплохих успехов — оправдываемость суточных прогнозов по

годы поднялась с 60—65 до 90—95%. Срок в 150 лет для любой науки не большой. Будем надеяться, что, двигаясь такими темпами, метеорологи откроют новые возможности науки о прогнозах погоды.

Блокирующие антициклоны летом провоцируют пожары в лесах и на торфяниках. Дымная мгла сильно затрудняет дыхание, вызывает приступы астмы и аллергии, сердечную недостаточность. На снимке — Беклемишевская башня Московского Кремля в августе 2010 г. Видимость менее 500 м.





## САМ СЕБЕ СИНОПТИК

Теперь, вооруженные знаниями, вы сами можете попробовать предсказывать погоду на небольшие сроки вперед. Зачем? — скажете вы, я лучше загляну в Интернет или узнаю будущую погоду из телепередач. Правильно, потому что сообщения о погоде в СМИ подготовлены на основе огромного количества информации с использованием самых современных методов прогноза — ни тем ни другим вы не располагаете. Поэтому лучше довериться специалистам.

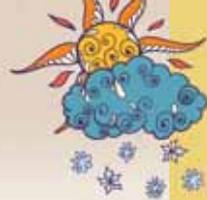
Но все-таки... Вот вы оказались в глуши без Интернета и телевизора или в дальней экспедиции в море с самыми простыми средствами связи, — что делать? Надо самому предвидеть изменения погоды, ведь ваша жизнь «на природе» очень от нее зависит. Например, у яхтсменов существует целый набор правил прогноза погоды «здесь и сейчас». Кроме того, самостоятельный прогноз погоды — очень увлекательная вещь, когда знаешь, от чего зависят изменения погоды и владеешь признаками этих изменений. Давайте попробуем!

Мы уже знаем, что изменения погоды происходят от смены воздушных масс и что самые важные атмосферные явления происходят на фронтах, разделяющих эти воздушные массы. Поэтому для начала надо найти простые признаки движения воздушных масс и фронтов, признаки, которые может увидеть или определить каждый, без всяких приборов.

Самый первый очевидный признак — это облака, последовательное изменение их форм и количества. Каждый вид атмосферного фронта и каждая воздушная масса имеют свою систему облачности, и часто по форме облаков можно определить, в какой синоптической ситуации мы находимся и чего ждать в дальнейшем.

Второй простой признак — это направление ветра и его изменения. Перед теплым фронтом циклона ветер, как правило, восточный (В) или юго-вос-





точный (ЮВ), а за теплым фронтом, в теплом секторе, — южный (Ю) и юго-западный (ЮЗ). Если такое изменение направления ветра произошло, смело можете утверждать, что на сутки-двое наступит теплая погода. При наступлении холодов ветер меняется с южного (Ю) на северо-западный (СЗ).

В принципе, оперируя двумя этими признаками, можно в общих чертах предсказать изменения погоды, но все-таки желательно иметь и один прибор — это барометр... Допустим, на небе появились перисто-слоистые облака (Сs) и связанное с ними красивое гало. Вы знаете, что они являются предвестниками длительных осадков и последующего потепления, а ни того ни другого так и не случилось. В чем дело? А в том, что циклон только показал вам свой «бок», перистую облачность, а сам прошел мимо. Вот если бы у вас был барометр, вы бы это смогли предвидеть по медленному изменению давления со временем. Дождя и потепления можно ожидать только при одновременном появлении на небе облаков Сs и быстром падении давления. Тогда вы уверенно скажете: циклон действительно приближается. Так что, если вы всерьез хотите прогнозировать погоду, купите барометр-анероид, он недорого стоит.

Надо только договориться о единицах измерения давления. Их две — системная и несистемная, обе они, как правило, отражены на шкалах современных барометров-анероидов. Несистемная единица — миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) — широко известна. К ней привыкли, ее сообщают в сводках и прогнозах погоды по радио и на телевидении, но эту единицу сложно «вставить»



Вы видите перистые облака — хребтовидные, хлопьевидные и плотные. Значит, над нами струйное течение верхней тропосферы. Для точного прогноза еще надо знать направление ветра и изменение давления.

в физические формулы. А вот системная единица — гектопаскаль (гПа) — может использоваться в этих формулах наравне с другими принятыми величинами — метром, килограммом, джоулем и др. Дальше будем пользоваться величинами давления в гектопаскалях. Теперь условимся, что такое быстрое и медленное изменение давления. В синоптической практике быстрым изменением считается падение или рост давления не менее чем на 1,5 гПа за 3 часа.

Итак, в деле прогноза погоды вам поможет триумвират — облака, ветер, давление. Теперь разберемся, что, собственно, мы можем прогнозировать, имея в помощниках этот триумвират. В прогностических центрах погода и ее особые явления рассчитываются по данным полных метеорологических





Наводнение в Штайре, Австрия.

Последствия наводнения в Сербии.

наблюдений. У нас с вами этого нет, поэтому придется ограничиться тем, что видим. Поэтому прогнозировать мы можем только качественно, или, как говорят синоптики, альтернативно: будет — не будет.

С температурой воздуха все достаточно просто — прогнозируем потепление или похолодание, не указывая конкретных величин температуры. Главное, ухватить тенденцию. Например, с похолоданием зимой часто связаны такие опасные явления погоды, как гололед,

сильный ветер и метель. С потеплением — зимняя распутица и туманы.

С осадками сложнее — необходимо хоть приблизительно оценить их количество. Слабый морозящий дождь не очень приятен, но терпим. А вот сильный ливень может вызвать наводнение. Летние осадки делятся на морось (меньше 0,6 мм воды за час), выпадающую из высокослоистых облаков (As), обложной дождь (0,6—3,0 мм за час), выпадающий из слоисто-дождевых облаков (Ns), и ливневый дождь (более 3,0 мм за час) из кучево-дождевых облаков (Cb). Зимние осадки тоже делятся по интенсивности (крупа, умеренный снег, сильный снегопад), но они уступают летним по количеству выпавшей влаги.





Конечно, вы не в силах сами рассчитать количество ожидаемых осадков, но можете указать в своем прогнозе их тип, зная, какая облачность будет преобладать. Например, теплый фронт — это морось и обложные осадки. Только летом, в самом конце дождливого периода, возможен кратковременный ливень. При приближении холодного фронта, когда вы уже видите стену кучево-дождевых облаков (Сb), можно смело прогнозировать ливневый дождь и грозу.

Можно предвидеть образование туманов. Они разнообразны по происхождению, но в основном встречаются в теплых секторах циклонов зимой, весной и осенью, а также в антициклонах — летом, поздней весной и ранней осенью.

Туманом называют помутнение воздуха за счет конденсации влаги в мельчайшие капли. Дальность видимости в тумане понижается: в слабом тумане видимость — до 500—1000 м, в умеренном — до 200—500 м, а в сильном — до 50—100 м. Зимой в ожидаемом теплом секторе циклона высока вероятность слабого и среднего тумана, летом в антициклоне — среднего и сильного тумана ночью и утром.

Летом при надвигании холодного фронта достаточно уверенно можно прогнозировать не только ливень с грозой, но и шквал. Шквалом называют резкое кратковременное усиление ветра

Шторм надвигается.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов



Один из многочисленных торнадо, пронесшихся над США.

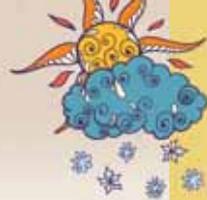
перед кучево-дождевым облаком (фронтом) до 20—30 м/с и более, длится он несколько минут, но дел может натворить немало. Это вихрь с горизонтальной осью. Но иногда, по не совсем понятным причинам, шквальный вихрь «встает на дыбы» и превращается в смерч (торнадо). В наших краях это достаточно редкое явление, а в южных штатах США их бывает много.

Зимой можно попробовать прогнозировать метель. Существуют два вида метелей — общая и низовая. Общая метель наблюдается при выпадении снега в сочетании с сильным ветром. Длиться она может несколько часов. Общая метель часто возникает на теплом фронте молодого циклона или на фронте окклюзии, и признаком ее будет сильное падение давления при начавшемся снегопаде. Может быть и так: сразу пошел сильный снег, ударил ветер, началась метель, а давление растет. Это значит, что прошел медленный холодный фронт. При этом метель продлится 2—3 часа.



Вот-вот «хобот» торнадо коснется земли.





Низовая метель — это когда сильный ветер взметает в воздух уже выпавший сухой снег. Снег поднимается на высоту не более 10—20 м, но этого достаточно для резкого снижения видимости. Низовые метели, как правило, возникают в тыловой части циклона: свежий снег выпадает при прохождении холодного фронта и далее поднимается в воздух северными и северо-западными ветрами за фронтом. Особенно благоприятные условия для возникновения низовых метелей отмечаются тогда, когда снег выпадает на ледяную корку — наст.

Вот, пожалуй, и все, что вы можете прогнозировать, наблюдая за облаками, направлением ветра и изменениями атмосферного давления. Но и этого немало.

Наметим теперь общий принцип прогноза погоды по наблюдаемым признакам, их еще называют местными признаками погоды. Беспорядочное использование признаков мало что даст, сначала надо понять, в какой синоптической ситуации вы находитесь — приближается к вам циклон или антициклон. Как это сделать?

Слабые переменные ветры или штиль в ясный солнечный день означают, что вы находитесь в антициклоне или в гребне высокого давления. Если на небе стали появляться перистые облака, особенно вытянутые в одном направлении, ветер стал устойчиво восточным или юго-восточным, а барометр начал падать, значит, на смену антициклону приходит циклон. В этом случае для прогноза погоды нужно пользоваться набором местных признаков, описывающих погоду в циклоне.

Циклоническая погода завершается обычно сильными северными и северо-

западными ветрами. Если эти ветры начинают ослабевать, давление устойчиво растет и небо очищается от облаков — значит, приходит антициклон, и для прогноза погоды следует пользоваться набором местных признаков для антициклонической погоды.

Попробуем теперь выявить наиболее надежные местные признаки погоды для двух синоптических ситуаций — циклона и антициклона. При этом мы будем привлекать и народные приметы погоды, многие из них имеют четкое физическое объяснение и сами по себе могут выступать как местные признаки изменения погоды.

Метель в городе, Северная Европа.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

При приближении циклона на ясном небе сначала появятся перистые облака, надежным признаком циклона являются «перышки», вытянутые в одном направлении. Особенно, перистые когтевидные облака. Если они появились, можно предполагать, что в течение 10—12 часов наступит дождливая (снежная) погода, а когда фронт пройдет и осадки закончатся, потеплеет. Если, конечно, барометр падает.



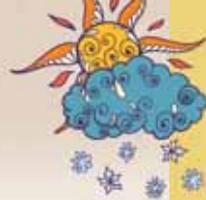
Следующим признаком наступления ненастья будут перисто-слоистые облака. Они рождают исключительно красивые оптические явления на небе — гало вокруг солнца и луны, световые столбы и ложные солнца. Эти оптические явления связаны с прохождением солнечных лучей через ледяные кристаллы перисто-слоистых облаков. Их появление, сопровождающееся с падением давления, предвещает дождь (снег) через 5—6 часов. Вот народные приметы, связанные с этими оптическими явлениями:

- Если вокруг солнца круг, летом будет дождь, зимой — выюга.
- Туманный круг около солнца — к метели.
- Круг около луны — к ветру, зимой — к снегу.
- Месяц с кругом несет воду в своем роге.

Перистые когтевидные облака.

Перистые облака свидетельствуют о приближении циклона.





Следующими появятся более плотные высокостроистые облака. Из них уже начнут выпадать осадки, и они будут продолжаться 6—8 часов с перерывами. Сначала через высокостроистые облака солнце или луна будут просвечивать в виде туманного пятна, эту картину народ запечатлел в метком выражении: луна в рубашке. Вокруг солнца и луны при этом могут образовываться близко примыкающие к ним радужные венцы. Тогда говорят: венцы вокруг солнца — к дождю. Он пойдет примерно через 1—2 часа. При этом давление должно обязательно падать.

Есть еще один признак наступления ненастья теплого фронта — становятся хорошо слышны отдаленные звуки. Например, вы отчетливо слышите стук колес электрички, которая от вас за 3—4 км. Так работает нависающая над

Самый впечатляющий признак приближения ненастья теплого фронта — гало, белое или радужное кольцо вокруг солнца или луны. Диаметр его обычно равен 22 угловым градусам.

вами поверхность фронта: она образует своеобразный звуковод, не выпуская далекие звуки из нижнего слоя атмосферы, и ведет их прямо к вам.

И вот пришли слоисто-дождевые облака, начался унылый обложной дождь. И ни конца дождю, ни края. Когда же он кончится? Ответ: когда усилится ветер. Люди на это среагировали сразу двумя приметам:

- Сильный ветер во время дождя предвещает хорошую погоду.
- Ветерок поднимется, разгонит облака, и будет ведро (сухо, без осадков).





Подмечено верно, но ветер ничего не разгоняет, просто вблизи приземной линии теплого фронта он усиливается, потому что увеличивается перепад давления между уходящим холодным воздухом и наступающим теплым.

Далее наступает погода, характерная для теплого сектора циклона. Приход теплой воздушной массы за фронтом всегда сопровождается поворотом ветра слева направо, т. е. юго-восточный ветер сменяется южным и затем юго-западным, как бы идет вслед за солнцем (посолонь, говорили на Руси). Есть и соответствующая народная примета: ветер за солнцем — к ведренной погоде. Однако так бывает в основном летом. Зимой же вторжение теплого воздуха приводит к совсем другим результатам: небо покрывается плотными и низкими слоистыми облаками (St) или слоисто-кучевыми (Sc), осадки из них не выпадают, но солнца совсем не видно. Все испарения с поверхности земли и дымы задерживаются под облаками, погода мглистая, часто наступает оттепель, т. е. повышение температуры до положительных значений, на дорогах слякоть. Народная

Высококучевые волнистые облака.

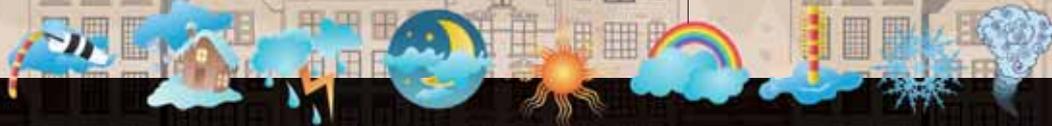


примета: дым из труб опускается вниз и стелется по земле — жди оттепели. В такую погоду и растопить печку проблема — тяга в трубах пропадает.

Поздней осенью, пока нет снега, а земля уже холодная, в теплом воздухе образуются туманы, в которых видимость снижается иногда до 100—200 м. Особенно часто такие туманы, называемые адвективными, бывают в районах, прилегающих к относительно теплым морям: на юге России и Украины по соседству с Черным морем (не забудем и о Каспии), в Прибалтике и на северо-западе России, обогреваемых Балтийским морем, на Дальнем Востоке, где туманы приходят с Японского моря. Если вы живете в этих краях, можно попробовать дать прогноз адвективного тумана в осенние месяцы. Прогностические признаки будут такие: ветер с моря (не более 8 м/с) и повышение температуры воздуха после прохождения теплого фронта не менее чем на 7 °С.

Летом в теплом секторе циклона наблюдаются три вида погоды, каждый из которых вы можете предсказывать по утреннему поведению атмосферы.

1. С утра — сильный и теплый, а подчас и жаркий ветер. Так бывает в теплых секторах молодых циклонов, где перепады давления, а стало быть, и ветер еще велики. Ветер будет дуть весь день, но к вечеру успокоится. Почему? Дело в том, что основная энергия движений атмосферы сосредоточена вверху, выше приземного слоя воздуха. Днем она передается вниз, вот у нас и ветер сильный. К вечеру приземный слой охлаждается, возникает инверсия температуры, и энергия движения верхних слоев атмосферы перестает передаваться вниз. Возможно, вы наблюдали такое явление: облака несутся по небу,





а внизу тихо. Есть народная примета на этот счет: обедник днем колышет, а к вечеру отишит. Здесь обедник — южный ветер, совпадающий по времени с русским обедом (на Западе обедают вечером).

2. С утра на небе появляются легкие, плоские кучевые облака. Они называются «облака хорошей погоды». Если к 12 часам местного времени они сохраняются на небе, не развиваются в более крупные, то грозы и ливня в течение дня не будет.

В. Поленов. Московский дворик. 1878 г. Погода в теплом секторе циклона при устойчивом состоянии воздуха. На дворе полдень, это видно по коротким теням от предметов. На небе только легкие кучевые облачка, их так и называют — облака хорошей погоды (*Cumululus humilis*). Если в полдень на небе только они, послеполуденных дождей не будет. В прогнозе погоды на такой день будет сказано: «Переменная облачность, без осадков».





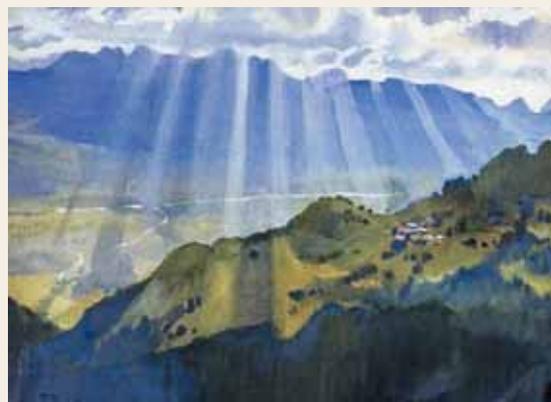
3. Утренние облака хорошей погоды уже к 10 часам местного времени значительно вырастают по высоте, превращаются в кучевые средние, а к 12 часам — в мощные кучевые. Это верный предвестник послеполуденных гроз и ливня, которых следует ожидать к 14—15 часам. Такие дожди называются внутримассовыми, они не связаны с фронтами. Возникновение грозовой облачности обусловлено высокой температурой и влажностью воздуха теплого сектора циклона, человек в этих условиях чувствует духоту.

С послеполуденными грозами и дождями связано большое число народных примет, вот некоторые из них:

И. Шишкин. Полдень. В окрестностях Москвы. 1869 г. Погода в теплом секторе циклона при неустойчивом состоянии воздуха. К полудню развиваются мощные кучевые облака (*Cumulus congestus*), высотой 5—6 км, которые к 14—15 часам станут кучево-дождевыми (*Cumulonimbus*) и из них прольются послеполуденные ливни. В прогнозе погоды на такой день будет сказано: «Во второй половине дня пройдут кратковременные дожди, местами сильные».

- Духота без града не обойдется.
- Душное марево — предтеча грозы.
- Солнце лучами тянет воду — будет дождь.

Последняя примета требует пояснения. Иногда мы видим на небе пучки светлых лучей, выходящих из-за облака, за которым прячется солнце. Это солнце освещает водяные капельки, парящие



3. Серебрякова. Горный пейзаж. Швейцария. 1914 г. На картине изображено так называемое иззаоблачное сияние, когда видны лучи солнца, пронзающие влажную атмосферу.





в воздухе, так бывает при большой влажности воздуха. Народ считал, что это солнце своими лучами тянет воду вверх, чтоб обрушить ее потом на нас в виде дождя.

Вслед за теплым сектором циклона приходит, как мы уже знаем, холодный фронт. Он появляется практически неожиданно, но его приближение иногда можно предсказать. Один из признаков — возникновение на чистом небе высококучевых облаков, так называемых барашков. Особой формой высококучевых облаков, предвещающих наступление холодного фронта, являются чечевицеобразные облака. Их появление на небе часто означа-

Чечевицеобразные облака — предвестники наступления холодного фронта.

ет прохождение холодного фронта примерно через час. Народная примета: небо в барашках предвещает хорошее утро, но позднее дождь приносит.

Сюда же можно отнести и такие приметы погоды:

- Чистый закат солнца — к вёдру.
- Солнце за тучу садится — к дождю.
- Если радуга появляется утром — будет дождь.
- Если радуга видна к вечеру, то будет хорошая погода.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

Дело в том, что холодный фронт надвигается, как правило, с запада. Именно поэтому заход солнца за тучу и предвещает его наступление. Радуга — тоже прогностический признак, позволяющий определить, будет еще дождь или он прошел и не повторится. Она видна на небе только тогда, когда солнце светит вам в спину. Значит, ее появление утром (солнце на востоке) означает, что холодный фронт к вам только еще идет, а радуга вечером (солнце на западе) говорит о том, что фронт уже прошел.

Но вот вы уже видите холодный фронт — это стена мощных дождевых облаков. Чего от него ожидать? Здесь возможны два варианта.

1. Давление быстро падает, усиливается южный ветер, примерно через полчаса-час пойдет обложной дождь (снег), сначала сильный, а затем постепенно затихающий. Продлится он 2—3 часа, потом настанет просветление, ветер повернет на северо-западный 10—15 м/с,

и похолодает. Это медленно движущийся холодный фронт.

2. Давление сначала быстро падает, и вдруг на 15—20 минут неожиданно подскакивает — на барограммах, непрерывных записях давления, появляется так называемый грозовой нос, и наступает «затишье перед бурей». Затем давление опять быстро падает, и на вас обрушивается шквал — усиление ветра, подчас до 40 м/с, предшествующее ливню и граду летом или сильному снегопаду и метели зимой. Интенсивность опасных атмосферных явлений на холодном фронте бывает разной — иногда град пройдет, а иногда и нет. На это есть одна народная примета: если гром гремит непрерывно — будет град. Непогода длится не более 20 минут, затем, как и в первом случае, наступает похолодание, ветер становится северным или северо-восточным, от свежего до сильного (10—15 м/с). Это быстро движущийся холодный фронт.

И. Левитан. Над вечным покоем. 1894 г. Картина написана на берегу озера Удомля Тверской губернии. Ее принято трактовать как олицетворение брэнности человеческой жизни перед мощными и неистощимыми силами природы. Наверное, это так. Но художник, сам того не ведая, гениально передал состояние атмосферы при надвигании холодного фронта циклона. С научной точки зрения здесь верно все, до деталей: сплошная стена серо-фиолетовых от обилия влаги кучево-дождевых облаков фронта, низкие беловатые облака впереди — это шквальный ворот, порывы ветра уже чувствуются по согнутым кронам деревьев и белой вспененной поверхности озера.





Погода в тыловой части циклона, после прохождения холодного фронта, будет зависеть от времени года. Зимой, ранней весной и поздней осенью возможны два варианта.

1. Установился северо-западный или западный ветер, небо сплошь покрылось слоисто-кучевыми облаками, осадков нет, либо они очень слабые, температура понизится после прохождения фронта, а затем меняться практически не будет.

2. Установился северный, а иногда и северо-восточный ветер, небо ясное, но временами проходят вторичные холодные фронты, дающие интенсивные, но короткие (10—15 минут) снежные

И. Остроухов. Сиверко. 1890 г. Сильный ветер, образующий на реке характерную рябь, гряды слоисто-кучевых облаков — типичная картина осенней погоды в тыловой части циклона.

«заряды». За вторичными холодными фронтами температура опять понижается, и, наконец, приходит арктический антициклон. Именно в нем зимой могут установиться жестокие морозы.

Летом погода тыловой части циклона ветреная, ясная, по небу бегут отдельные разорвано-кучевые облака. Поскольку холодный воздух приходит на теплую землю, он становится неустойчивым — нижние слои нагреваются, устремляют-





И. Левитан. Свежий ветер. Волга. 1895 г. Летняя погода в тыловой части циклона за холодным фронтом. Дым из пароводных труб не может подняться вверх из-за сильного ветра и стелется по поверхности реки. По теням на парусе и баржах можно определить, что ветер дует с севера — северо-запада, увлекая за собой редкие и легкие разорвано-слоистые облака (*Stratus fractus*). Яркое солнце, прозрачный воздух, но холодно и ветрено.

ся вверх, и образуются кучево-дождевые облака, которые во второй половине дня могут дать короткие внутримассовые ливневые дожди. Будет такой дождь или нет, вы можете установить по развитию кучевой облачности с утра. Признаки такие же, как и для теплого сектора циклона.

Небо прояснилось, ветер ослабел, давление выросло — это значит, что пришел антициклон. А вот насколько сохранится ясная погода, связанная с ним, помогут предсказать наблюдения за ветром и изменениями давления. В наших широтах антициклоны, как и циклоны, тоже связаны с атмосферными фронтами и по своему происхождению бывают двух видов — промежуточные и заключительные. Промежуточные антициклоны относительно невелики (от 500 до 1000 км в диаметре), они приходят за холодными фронтами, в промежутке между циклонами, отсюда и название. Приносят с собой прояснение и понижение температуры, но не задерживаются надолго и уступают место следующему циклону.

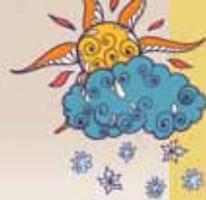
Заключительные антициклоны также образуются в холодном воздухе, но

когда пройдет вся серия циклонов. Они значительно больше, до 2—3 тыс. км в диаметре, и изменение температуры, связанное с ними, существеннее, чем в случае промежуточных антициклонов. А вот ведут они себя гораздо менее предсказуемо. Заключительный антициклон может быстро уйти в южные широты, а может и остановиться в наших краях на неопределенное время. Тогда он превращается в блокирующий антициклон, т. е. не пускает циклоны на восток. В главе про атмосферные фронты мы установили, что блокирующие антициклоны зимой приносят сильные и продолжительные морозы, а летом — жару и отсутствие дождей, вплоть до засухи.

Итак, к нам пришел антициклон. К какому типу его отнести, какая будет погода, хотя бы в ближайшие два-три дня? Наблюдайте за направлением ветра, пусть даже слабого, изменениями давления и учитывайте время года. Зимой возможны три основных варианта изменений погоды.

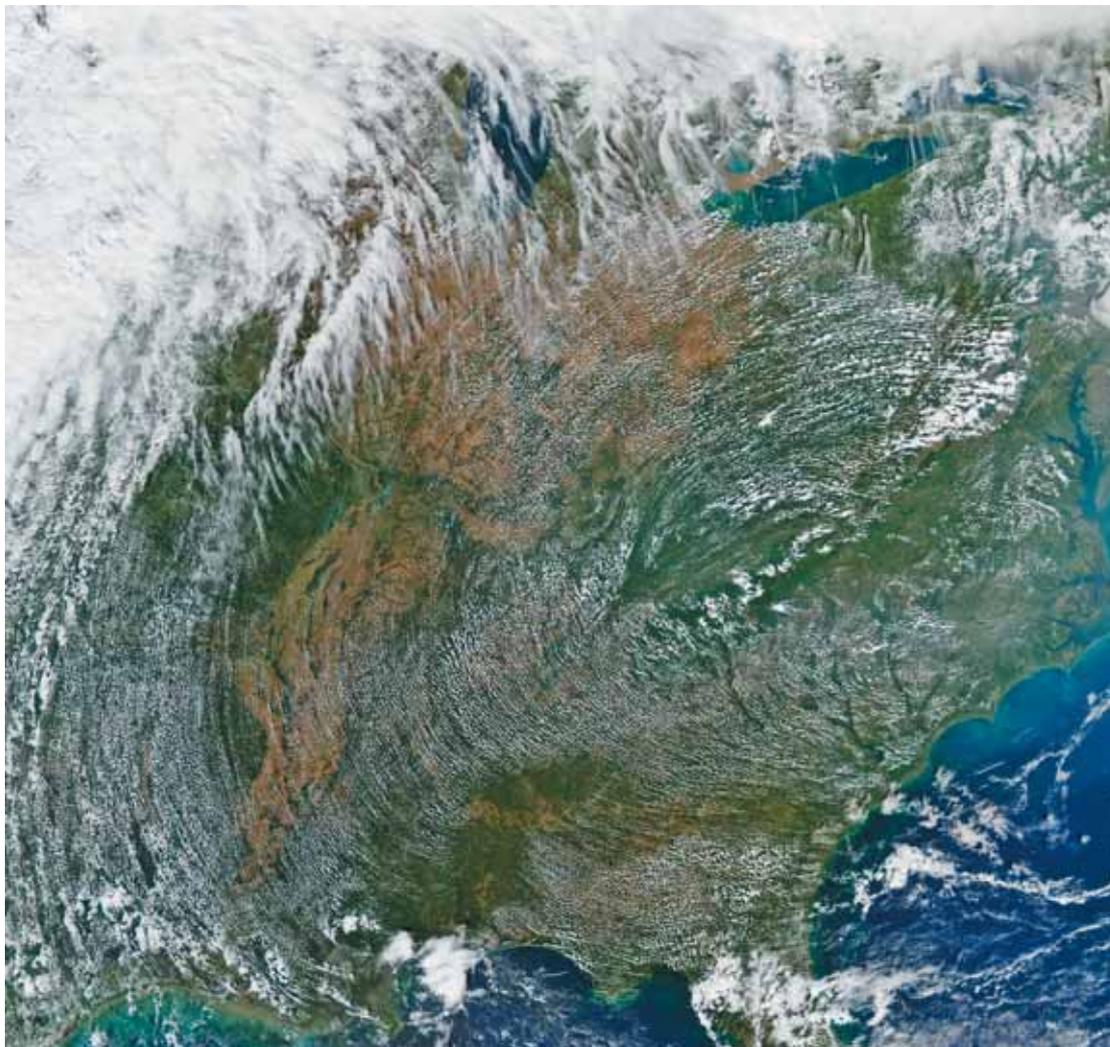
1. При безоблачном небе, северном или северо-западном ветре давление в течение 5—6 часов растет, а затем сразу начинает падать. Ветер при этом

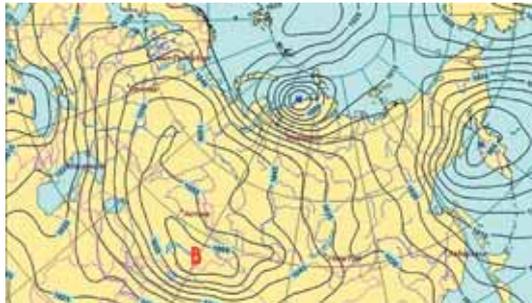




Блокирующий антициклон над Северной Америкой. Малооблачное пространство антициклона окружено облачностью — мощной циклонической на севере и пассатными облаками на юге. Легкие перистокучевые и высококучевые облака внутри

антициклона («барашки») образуются под слоями температурных инверсий, обычных в области высокого давления. Эти облака формируют гряды, вытянутые вдоль воздушных потоков, вытекающих из антициклона.





Синоптическая карта зимнего Сибирского антициклона. Огромная область высокого давления на этой карте сдвинулась со своего обычного места в Восточной Сибири на Западную Сибирь и Северный Казахстан. В результате холодный воздух стал поступать по южной периферии антициклона на европейскую часть России с юго-восточными и даже южными ветрами.

становится восточным или юго-восточным, на небе появляются перистые облака. Это значит, что проходит промежуточный антициклон. Он подарит хорошую погоду не более чем на 12 часов, а затем придет очередной циклон.

2. Те же самые условия, но растянутые во времени. Так, первоначальный рост давления при северных или северо-западных ветрах продлится 10–12 часов, возможна стабилизация давления на несколько часов, а затем начнется его падение. Это проходит заключительный антициклон, он обусловит хорошую погоду на сутки, а то и двое.

3. При безоблачном небе давление за 10–12 часов достигло отметки 1020–1030 гПа и продолжает медленно расти. Впоследствии оно может подняться и до 1050 гПа. Это значит, что пришел блокирующий заключительный антициклон и остановился над вашим районом. Сколько времени продлится эта ситуация, современная наука пока сказать не может, а вот прогноз сильного похолодания вы можете дать. Оно возможно только при северных и особенно северо-восточных ветрах. Все случаи экстремальных холодов до  $-30$ – $-40$  °C

случались на европейской территории России в антициклонах именно при северо-восточных ветрах. Если над вашей территорией отмечается ветер других направлений, то особых холодов ждать не следует. При этом небо может даже полностью покрыться плотными и низкими слоистыми облаками.

Зимой на погоду России влияет также огромный Сибирский антициклон. Он не связан с атмосферными фронтами, а образуется из-за охлаждения воздуха на огромных пространствах Восточной Азии. Центр его обычно находится в Забайкалье, Якутии, Северной Монголии. В этих краях он обуславливает очень холодную и сухую погоду с температурой до  $-50$ – $-60$  °C. Благодаря сухости воздуха такие морозы можно терпеть, именно этим и гордятся сибиряки. Но иногда Сибирский антициклон начинает двигаться к западу, и тогда под его влияние попадает не только Западная Сибирь, но и европейская часть России, вплоть до Петербурга. Вот тогда у нас воцаряются сибирские морозы. Признаком их наступления является похолодание до  $-20$ – $-25$  °C при юго-восточных и даже южных ветрах. Таким образом, морозы



## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



на европейскую территорию России приходят двумя путями: из Арктики и из Сибири.

Летом также наблюдаются промежуточные и заключительные антициклоны, ветер, давление и облачность в них изменяются примерно так же, как зимой, но, конечно, при более высоких температурах воздуха. Для прогноза погоды можно использовать зимние варианты 1 и 2. А вот зимний вариант 3 использовать нельзя, потому что летом блокирующая ситуация в корне отличается от зимней.

Вначале воздух блокирующего антициклона тоже относительно холодный, но он очень быстро прогревается под влиянием земли — она весь безоблачный день поглощает солнечное тепло и потом щедро отдает его воздуху. Так, если летом арктический воздух заключительного антициклона понизил температуру до 15 °С, то через двое суток воздух прогреется до 20—25 °С, а далее может перешагнуть и отметку 30 °С. Вместе с температурой будет изменяться и влажность воздуха. Арктический воздух, как правило, довольно сухой, относительная влажность в нем не превышает 40%, при повышении температуры она будет быстро уменьшаться до 20 и даже до 10%... В условиях блокирующего антициклона высокая температура в сочетании с низкой влажностью воздуха означает одно — засуху. Самые опасные



Лесные пожары на европейской территории России летом 2010 г.

Москва, Красная площадь,  
август 2010-го...





Утром 20 ноября 2002 г. густой туман укутал Центральную долину Калифорнии (белое вытянутое пятно в центральной части снимка) от залива Сан-Франциско почти до пустыни Мохаве. Восточнее — заснеженные вершины Сьерра-Невады.

явления летней погоды: изнуряющая жара, гарь в воздухе от лесных и торфяных пожаров, отчего трудно дышать, наконец, выгорание посевов сельскохозяйственных культур, гибель будущего урожая. Вот такие сюрпризы может принести с собой прохладный арктический

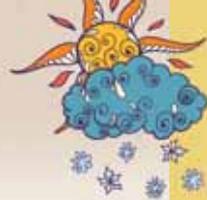
воздух, если летом надолго остановится в наших широтах.

Жаркая летняя погода на европейской территории России и на Украине может установиться и при другом синоптическом процессе. В далекой Атлантике, около Азорских островов, в течение всего года существует антициклон, он так и называется — Азорским и не связан с атмосферными фронтами. Летом он сильно увеличивается в размерах и охватывает своим влиянием всю Европу, иногда до Урала. Тогда у нас тоже наступает жаркая погода, но не такая «свирепая», как при засухах арктического происхождения. Распознать ее наступление можно по следующим признакам:

- южный и юго-западный ветер, постепенно стихающий,
- рост давления,
- повышение температуры до 25—27 °С,
- уменьшение видимости удаленных предметов.

Последний признак связан с тем, что воздух отрогов Азорского антициклона гораздо больше, чем арктический, насыщен влагой, а еще пылью, приносимой из африканских пустынь. В воздухе как





бы висит марево, понижающее дальность видимости.

В антициклонах может наблюдаться такое опасное явление погоды, как радиационные туманы. (Отметим, что в данном контексте радиация отнюдь не означает радиоактивное излучение.) Они образуются ночью, когда за счет теплового излучения земли температура приземного слоя воздуха падает настолько, что содержащийся в нем водяной пар конденсируется в капли воды. Радиационный туман может держаться и утром, вплоть до 10—11 часов местного времени. Такие туманы обычно довольно плотные, видимость в них снижается иногда до 50—100 м. Как предсказать их возникновение? Посмотрите примерно в 21 час местного времени, выпала ли роса на траву. Если выпала, то ночного тумана не будет, если нет, то прогнозируйте утренний туман.

Вот мы и закончили обзор синоптических процессов и их признаков, которые помогут вам самостоятельно прогнозировать погоду. В приведенных ниже таблицах эти признаки систематизированы, и их легко использовать. В заключение — только одно замечание. Все признаки изменения погоды,

собранные в нашей книге, отражают положения классической синоптической метеорологии. В целом природа «соблюдает» эти положения, но бывают ситуации, когда она вырывается за их границы (что поделать, атмосфера все-таки дама и поэтому иногда бывает мало предсказуемой). В этих случаях не смущайтесь и пользуйтесь предсказаниями ведущих прогностических центров. Уж они-то учтут все многообразие погоды.

Монтаж спутниковых изображений облачности на земном шаре дает представление о глобальной циркуляции воздуха и об основных климатических зонах. В умеренных широтах Северного и Южного полушарий господствует плотная циклоническая облачность с характерными «хвостами» фронтальных облаков. Ближе к экватору небо относительно чистое — это тропики, где в течение всего года выпадает мало осадков и жарко. Наконец, вдоль экватора отмечается прерывистая полоса облачности. Это зона сходимости (конвергенции) пассатов двух полушарий, она порождает мощную грозовую облачность, которая господствует в экваториальном поясе.



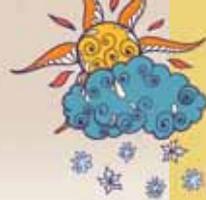


### Прогноз погоды в антициклоне

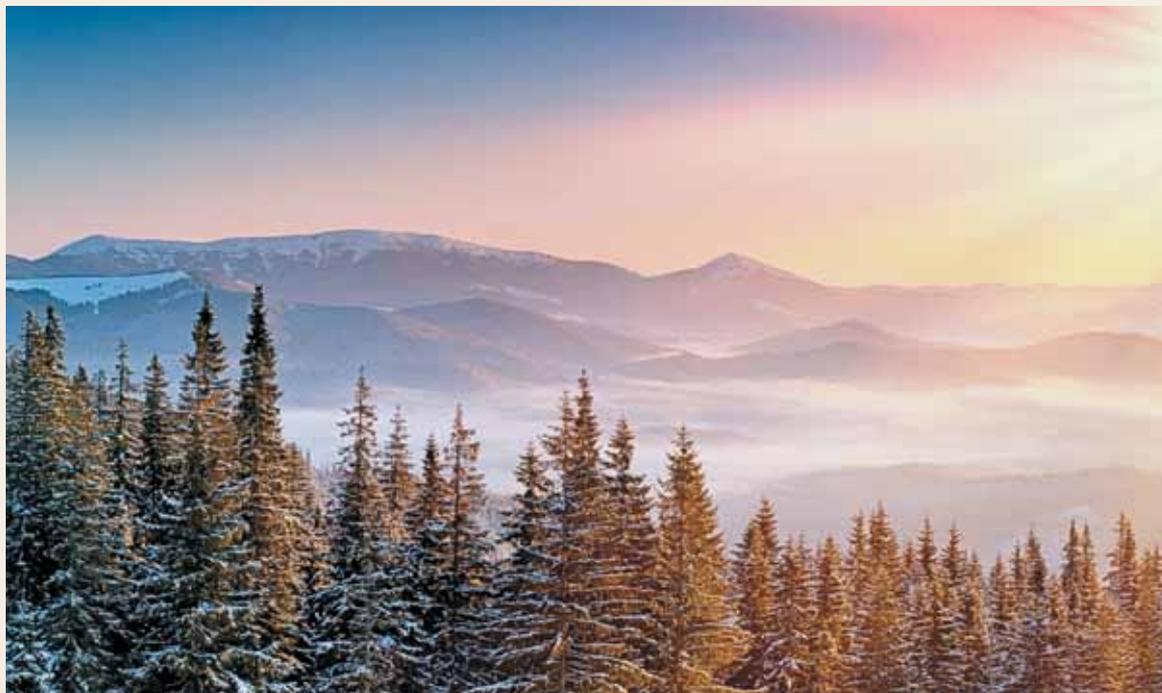
Наблюдаемая погода				Прогноз погоды
Облака	Ветер	Давление	Явления	
Безоблачно	С или СЗ слабый	Растет в течение 5—6 часов, далее падает	Появление перистых облаков, С <sub>1</sub> , при хорошо выраженном падении давления	Проходит промежуточный антициклон. Солнечная, тихая погода сохранится в течение 10—12 часов, далее следует ожидать циклоническую погоду (см. табл. Прогноз погоды в циклоне)
То же	То же	Растет в течение 10—12 часов, далее медленно падает	То же	Проходит заключительный антициклон. Солнечная, тихая погода сохранится 1—2 дня. Летом ночью и утром возможен туман.
То же	Переменных направлений, слабый или штиль	Растет в течение суток и летом достигает 1030 гПа, а зимой — 1050 гПа. Далее не меняется	В начале роста давления возможно появление перистых кучевых облаков, С <sub>с</sub> , в виде мелких барашков высоко над землей	Блокирующий антициклон. Зимой — сильное похолодание, при слабых СВ ветрах до -30 °С и ниже. Летом — рост температуры в течение 2—3 дней до 25—30 °С и дальнейшее сохранение жаркой, сухой погоды (засуха). Время окончания процесса блокирования пока не поддается прогнозу.



## А. Угрюмов *Когда пойдет дождь?*



Наблюдаемая погода				Прогноз погоды
Облака	Ветер	Давление	Явления	
То же или легкие перистые облака, Сi (зима)	ЮВ-Ю	Повышенное, 1020—1025 гПа	Постепенно холодает	Отрог зимнего Сибирского антициклона, пришли сибирские морозы до $-20$ — $-25$ °С. Будут продолжаться от 3 дней до недели.
То же (лето)	Ю-ЮЗ	То же	Уменьшение прозрачности воздуха, снижение дальности видимости	Отрог Азорского антициклона. Солнечная, сухая погода с температурой $25$ — $27$ °С. Сохранится не менее недели.





### Прогноз погоды в циклоне

Наблюдаемая погода				Прогноз погоды
Облака	Ветер	Давление	Явления	
ТЕПЛЫЙ ФРОНТ				
Перистые, Ci	В-ЮВ	Медленно падает		Вероятна ненастная погода с последующим потеплением
Перисто-слоистые, Cs	В-ЮВ	Быстро падает	Гало	Через 5—6 часов начнется дождь (снег) и будет идти 6—8 часов с перерывами
То же	То же	Не меняется или слабо растет	То же	Дождя (снега) не будет
Высокослоистые, As	ЮВ	Быстро падает	Солнце в виде туманного пятна, венцы вокруг солнца или луны	Через 1—2 часа начнется морось (снежная крупа), переходящая в обложной дождь (снег). Продолжительность осадков 6—8 часов с перерывами
Слоисто-дождевые, Ns	ЮВ-Ю	Быстро падает	Обложной дождь (снег), зимой возможна метель	Продолжительность осадков 5—6 часов, затем температура повысится. Предвестником окончания дождя (снега) будет усиление ветра.



Наблюдаемая погода				Прогноз погоды
Облака	Ветер	Давление	Явления	
ТЕПЛЫЙ СЕКТОР				
Редкие слоисто-кучевые, Sc (лето)	Ю до 15 м/с	Мало меняется		Теплый (жаркий) ветер весь день, около 18 часов ветер стихнет
Слоистые, St Слоисто-кучевые, Sc (март — ноябрь)	З-ЮЗ слабый	То же	Оттепели зимой. Туманы весной и осенью	Условия погоды сохранятся в течение 1—2 дней
Кучевые, Cu (апрель— сентябрь)	ЮЗ-Ю слабый	То же	Облака с утра не растут	В течение дня дождя не будет
То же	То же	То же	Облака интенсивно растут, духота	Ливневый дождь и гроза в 14—15 часов



Эти зловещего вида облака называются *Undulatus Asperatus*. Между тем это всего лишь слоисто-кучевые облака, и их появление не сопровождается никакими природными катастрофами.





## Когда пойдет дождь? А. Угрюмов

Наблюдаемая погода				Прогноз погоды
Облака	Ветер	Давление	Явления	
ХОЛОДНЫЙ ФРОНТ И ТЫЛ ЦИКЛОНА				
Слоисто-дождевые, Ns, надвигаются с З-ЮЗ	Ю усиливается	Быстро падает		Через полчаса-час начнется обложной дождь (снег), зимой возможна метель, летом — ливень и гроза. Осадки будут продолжаться 2—3 часа. Затем прояснение, похолодание, ветер 10—15 м/с, давление быстро растет
Высоко-кучевые, Ac, затем стена кучево-дождевых облаков, Сb (май — сентябрь)	То же	То же	Затишье перед самым фронтом на 15—20 минут	Через полчаса-час после появления облаков Ac — шквал, кратковременный ливень, гроза, возможен град. Продолжительность этих явлений не более 30 минут. Затем — прояснение, похолодание, ветер С-СЗ до 15 м/с
Внезапное появление облаков Ns на ясном небе (ноябрь — март)	С-СЗ	Кратковременное падение	Холодная погода	Сильный снегопад (снежный заряд) на 10—15 минут, метель
С утра кучевые облака, Cu, которые быстро растут (май — сентябрь)	СЗ	Слабо растет	То же	После полудня грозовые дожди, возможен град

### Холодный фронт.



## НЕСКОЛЬКО СЛОВ В ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для любой науки, да и для любого настоящего дела вечно актуальной будет одна важная проблема: кто продолжит уже сделанное, кто не побоится бросить вызов еще неизведанному? Именно поэтому автор обращается к молодым: если что-то в этой книге вам показалось занятным и вам захотелось попробовать свои силы в прекрасной науке метеорологии и интереснейшем деле прогнозов погоды, — не оставляйте эту мысль, не смущайтесь грандиозностью задач, всмотритесь и вслушайтесь в атмосферу, попробуйте понять и полюбить ее так же, как синоптик... Не упускайте свой жизненный шанс. Пройти мимо любимого дела легко, а обрести его очень трудно.

Надеюсь, эта книга будет полезной ученикам пятого, а в особенности шестого и седьмого классов средней школы, изучающим курс географии.

Метеорология — большая комплексная наука, Помимо синоптической метеорологии, о которой главным образом и шла речь в этой книге, в нее входят динамическая (изучение физики атмосферных процессов) и физическая метеорология (дистанционные методы исследования атмосферных явлений). А еще есть климатология — изучение географии климатов, изучение климатов прошлого, прогноз состояния климата в будущем, оценка влияния климатических изменений на экологию и экономику.

