

Как делается прогноз погоды?

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Гидрометцентра РФ, профессор департамента математики Высшей школы экономики

В.А.Гордин

Вокруг нашей планеты имеется тоненький слой – атмосфера. Мы в ней живем. Изменение свойств атмосферы – погода – может заметно повлиять на нашу жизнь. Элементы погоды: температура, давление, влажность, ветер, осадки. По каким законам они меняются со временем? Про это многое уже известно. Вот что известно про погоду в Опочке в ближайшие дни:

<http://193.7.160.230/web/osio/meteogram/OPO~KA.html>

Можно ли погоду предсказать, на какой срок, с какой точностью, и что для этого нужно? Почему для прогноза погоды в Опочке нужно производить измерения по всей планете? Что и как можно измерить? Что измеряет метеостанция в Опочке? Зачем запускают метеозонды? Что могут измерить спутники, самолеты, морские буи? Нужно ли для прогноза погоды измерять (и что именно) в океанах? Зачем нужны сверхмощные компьютеры? При чем тут математика, физика, информатика?

Поговорим?

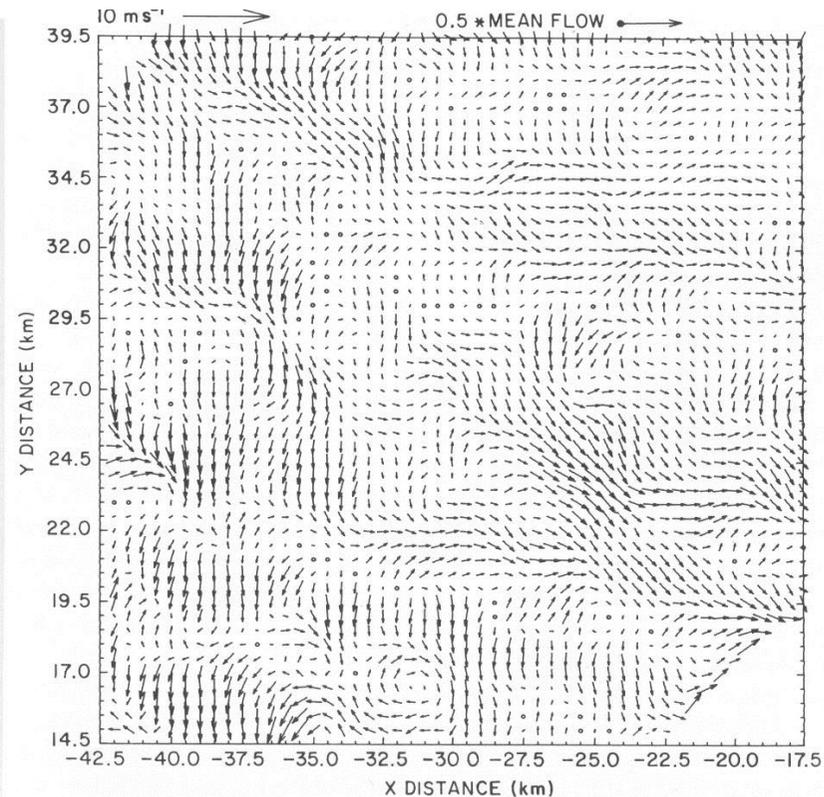
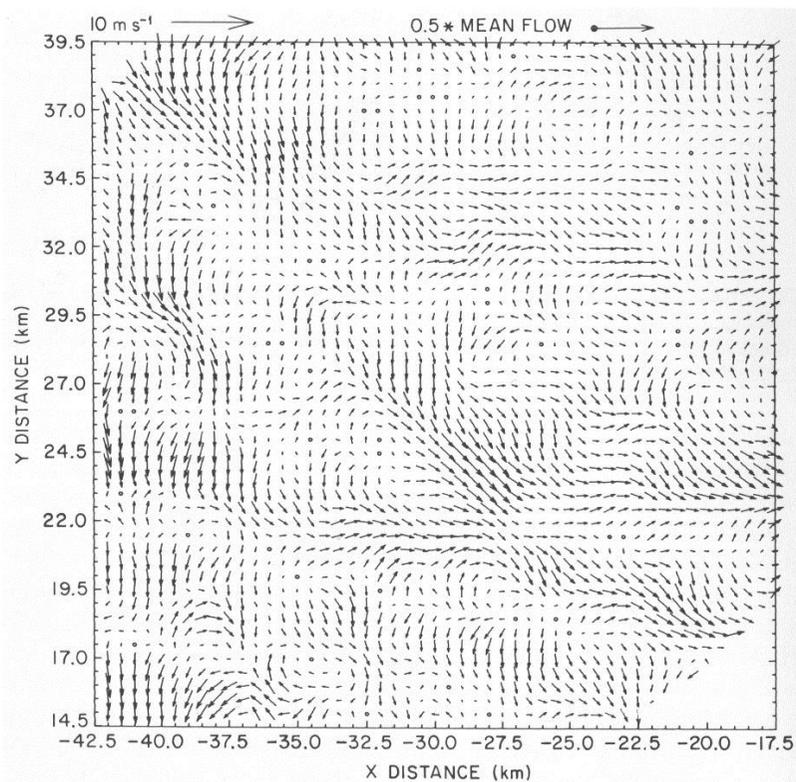
Примерное поступление метеорологических сообщений (тыс) с поверхности Земли за срок 12 часов по Гринвичу

	Станции на суше	Судовые наблюдения	Морские буи	Всего
Сев. полушарие	6,4	0,68	1,1	8,18
Южн. полушарие	1,1	0,07	0,7	1,87
Всего	7,5	0,75	1,8	10,05

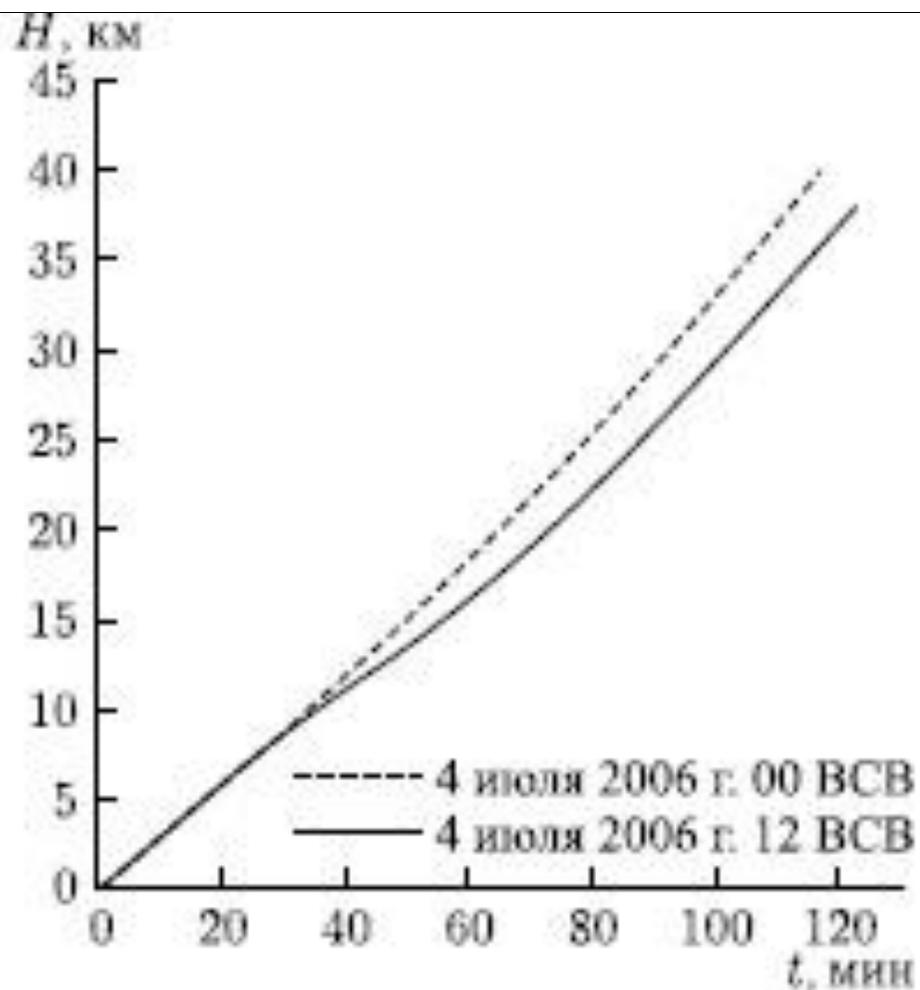
Много это или мало? Оценим площадь поверхности нашей планеты Земля. Ее радиус 6 400 км. Формула для площади поверхности сферы $4\pi R^2 \approx 5,2 \cdot 10^8 \text{ км}^2$. Значит, на одну станцию приходится в среднем $5,2 \cdot 10^4 \text{ км}^2$. В Северном полушарии станции примерно в 4 раза гуще. Т.е. примерно квадрат со стороной 100 км. Аэрологических станций – тех, где запускают радиозонд, намного меньше. В Северном полушарии их примерно 650. Т.е. одна такая станция на $4 \cdot 10^5 \text{ км}^2$. Т.е. квадрат со стороной 600 км. Как от Опочки до Москвы. А как изменяется погода?



Левая граница дождя очерчена четко. Для оценки масштаба можно использовать шоссе. Граница дождя изогнута - это следствие геометрии воздушных потоков в зоне. Кроме того, они и по горизонтали закручены. Описать явления вокруг одного облака (с горизонтальным размером в несколько километров) в глобальной модели атмосферы Земли затруднительно.



Можно попытаться разделить средний ветер и ветер локальный. На левом квадрате 25 x 25 км с разрешением 0,5 км приведено поле отклонения ветра от среднего по этому же квадрату на высоте 1 км (где уже на ветер слабо влияют особенности земной орографии, дома и т. п.). Измерения проводились совместно двумя радарами в Оклахоме в 14 ч 38 мин С.С.Т. 27 июля 1977г. Вектор среднего потока приведен в верхнем правом углу и составляет 14,8 м/с. Видно, что эти отклонения меньше среднего потока на порядок (но не более!). И у них есть своя повторяющаяся структура - вихри с характерным размером 4 км. На правом рисунке измерения ветра, проведенные при тех же условиях, что и на левом, но спустя примерно 3,5 мин. Средний ветер практически не изменился, а мелкомасштабная структура отклонений от него изменилась. Основное изменение (хотя не все сводится к нему) - перенос вдоль основного потока в восточном направлении. Можно оценить, за какое время вся картинка ``уйдет'' из рассматриваемого квадрата: $25 \text{ км} / 14,8 \text{ м/с} \approx 28 \text{ мин}$ - для посадки или взлета самолета вполне достаточно.



Вертикальная координата (в км)
зондов, запущенных в один и тот же день в
00 и в 12 часов по Гринвичу. Время полета
приводится в минутах. Данные поступали с
периодом 10 с. Скорость подъема почти
постоянна, с незначительным ускорением.
Второй зонд летел медленнее и поднялся
на меньшую высоту

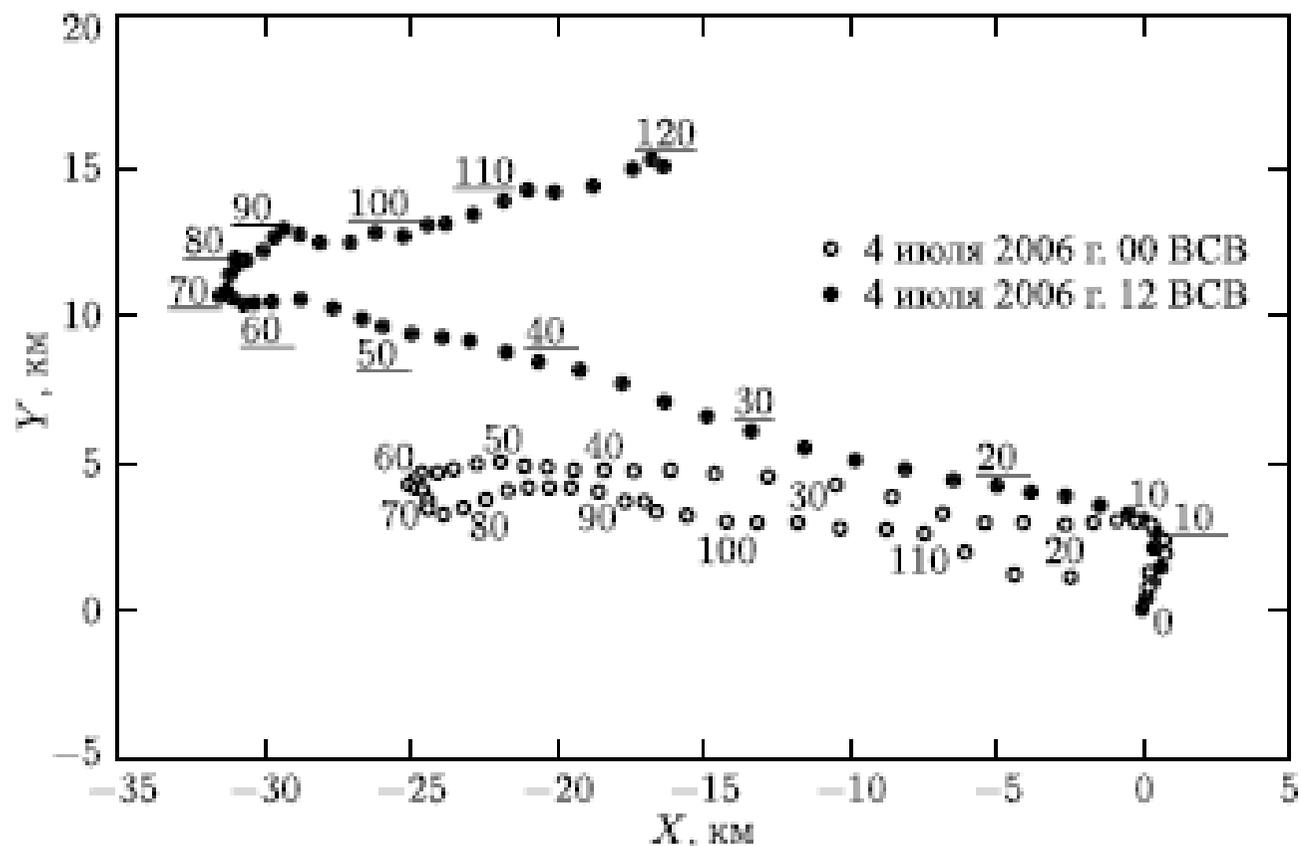
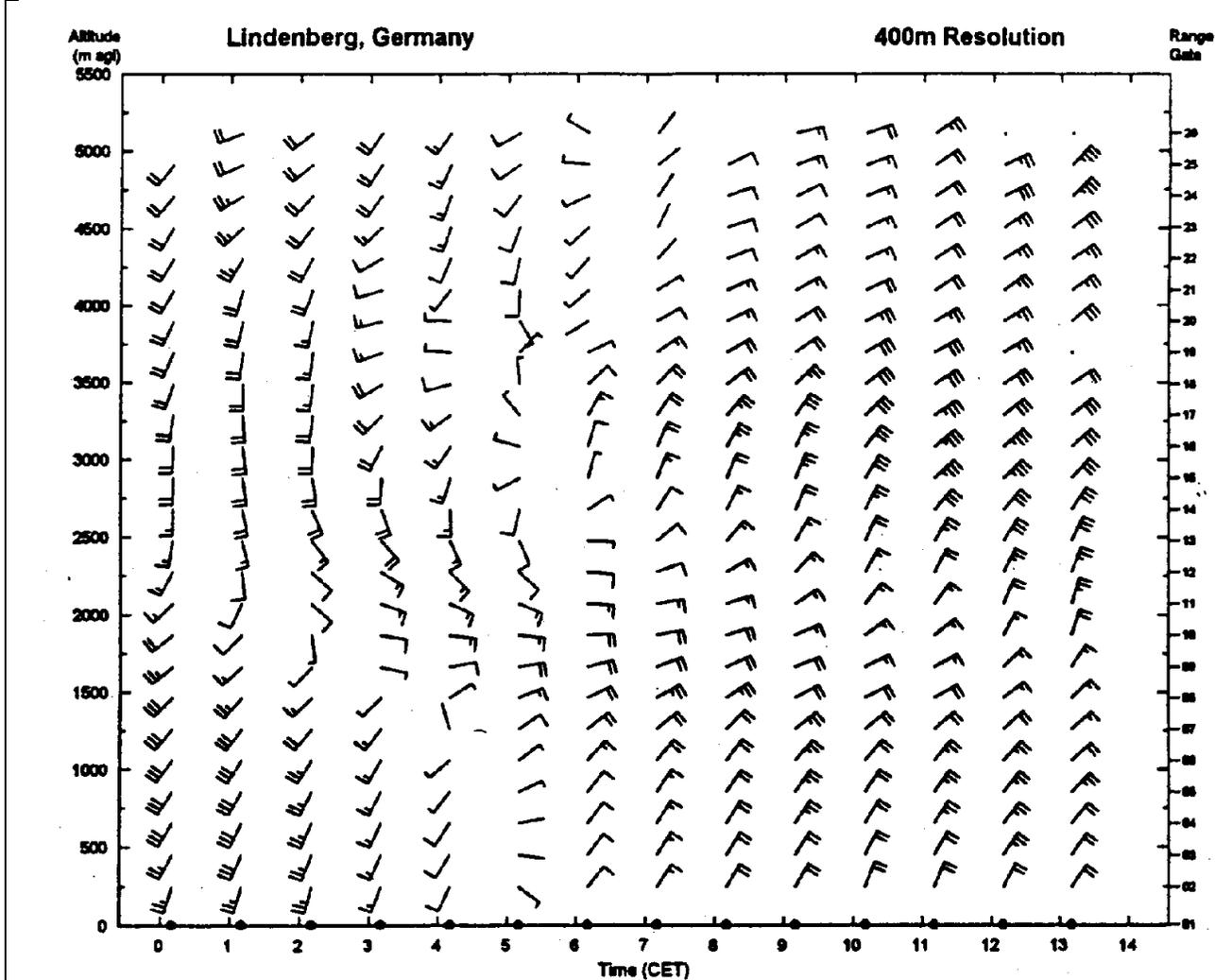


Рис. 1.3. Ветер, который дует на разных высотах, определяется наблюдателем по смещению зонда. На рисунках изображено положение зонда относительно точки запуска в км (направления осей — долгота и широта), а числа означают минуты полета. Видно, что на разных высотах ветер дует в разные стороны. За 12 часов, как следует из сравнения черных и белых кружков, направление ветра существенно поменялось



Измерение профайлером горизонтального ветра с высотой и со временем. По оси абсцисс - время в часах, по оси ординат – высота (до 5 км), на которой производится измерение. Направление стрелки указывает направление ветра. Если она направлена вверх, то ветер южный, а направо - западный. Оперение описывает силу ветра. Длинное ``перо" отвечает 5 м/с, а короткое - вдвое меньше

Что почитать

Как это посчитать? Обработка метеорологической информации на компьютере.

В.А.Гордин. М.: МЦНМО, 2005, 280с.

В.А.Гордин. Метеорологические наблюдения: распределенные в пространстве и времени.

Часть 1. Журнал «Квант», 2010. № 3. С.2—8.

В.А.Гордин. Метеорологические наблюдения: распределенные в пространстве и времени.

Часть 2. Журнал «Квант», 2010. № 4. С.11—18.