

ОДНА ИЗ НАИАКТУАЛЬНЕЙШИХ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННЫХ НАУК О ЗЕМЛЕ (ГЕОНАУК): НАСКОЛЬКО ВОЗМОЖНО ПОВЫСИТЬ ТОЧНОСТЬ (ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ) ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ. ЧАСТЬ 3

Цюпка В. П.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

8. Прогноз погоды с применением метода математического моделирова- ния, или численного (вычислительного) метода, в том числе с использова- нием ЭВМ, и их точность (оправдываемость). Возникшие трудности

Первые попытки использования математических моделей для прогнози-
рования погоды были сделаны в 1920-х гг.

В 1922 г. британский «математик, физик, метеоролог, психолог и паци-
фист»¹ «Льюис Фрай Ричардсон»² (англ. «Lewis Fry Richardson»³), реализуя
подход, предложенный В.Ф.К. Бьеркнесом, представил математическую модель
прогноза «погоды, основанную на разделении земной поверхности на ячейки,
получении данных о текущей погоде в каждой из них и последующем прогнозе
погоды посредством математического приема, известного как исчисление ко-
нечных разностей.»⁴ Это была «в высшей степени запутанная процедура, одна-
ко на это сам»⁵ Л.Ф. «Ричардсон отвечал, что "схема сложна, потому что атмо-
сфера сложна"»⁶. «Значительная часть его вычислений была за гранью возмож-
ного до появления машинных вычислений, однако»⁷ Л.Ф. Ричардсон не унывал.
Такой численный (вычислительный) «прогноз погоды всего на 6 часов, сделан-

¹ Ричардсон, Льюис Фрай. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%E8%F7%E0%F0%E4%F1%EE%ED_%CB%FC%FE%E8%F1_%D4%F0%E0%E9

² Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 167.

³ Чучуева И. История развития моделей прогнозирования погоды. URL: <http://www.mbureau.ru/articles/istoriya-razvitiya-modeley-prognozirovaniya-pogody>

⁴ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 167.

⁵ Чучуева И. История развития моделей прогнозирования погоды. URL: <http://www.mbureau.ru/articles/istoriya-razvitiya-modeley-prognozirovaniya-pogody>

⁶ Там же.

⁷ Там же.

ный»⁸ Л.Ф. «Ричардсоном, оказался не просто плох →»⁹ он прогнозировал «появление фантастической бури, а реальная погода оказалась вполне нормальной.»¹⁰ «Не испугавшись насмешек,» он «опубликовал и результат, и алгоритм расчета»¹¹ в 1922 г. в книге «Предсказание погоды с помощью численных методов» (англ. «Weather Prediction by Numerical Process»)¹². Л.Ф. «Ричардсон отнёс неудачу модели на счёт недостаточного количества данных и трудностей ведения громоздких вычислений вручную.»¹³ По поводу последнего он писал: «Когда-нибудь, в далеком будущем будет возможность выполнять вычисления быстрее, чем меняется погода... Но это лишь мечта»¹⁴. К настоящему времени стало понятно, что аппроксимируя дифференциальные уравнения эволюции атмосферы уравнениями в конечных разностях,»¹⁵ Л.Ф. «Ричардсон выбрал для элементарных пространственных и временных шагов неподходящие значения. Поскольку о необходимости проявлять осторожность при выборе значений таких шагов тогда еще никто не подозревал, этой ошибки едва ли можно было избежать.»¹⁶

«Вскоре обычные вычисления»¹⁷ перепоручили ЭВМ, и численный прогноз погоды обогатился использованием компьютерной математической модели тропосферы. «С изобретением компьютера и компьютерного моделирования стало возможным осуществлять»¹⁸ численный прогноз погоды «в режиме реального времени.»¹⁹ Но всё же следует признать, что «прогнозы, которые вы-

⁸ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 167.

⁹ Там же.

¹⁰ Там же.

¹¹ Там же.

¹² Richardson L.F. Weather Prediction by Numerical Process. Cambridge. Cambridge University Press. 1922. 236 p.

¹³ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 167.

¹⁴ Чучуева И. История развития моделей прогнозирования погоды. URL: <http://www.mbureau.ru/articles/istoriya-razvitiya-modeley-prognozirovaniya-pogody>

¹⁵ Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М. Институт компьютерных исследований. 2002. С. 553.

¹⁶ Там же. С. 553-554.

¹⁷ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 167.

¹⁸ Численный прогноз погоды. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B

¹⁹ Там же.

мы с середины, введя случайно взятое число 0,506 из распечатки. Затем»³¹ Э.Н. «Лоренц отправился пить кофе, а машина продолжала «перемалывать» содержимое. Вернувшись, он был поражён увиденным: часть нового прогона, перекрывающаяся со старым, содержала отличные от прежних результаты. Причем отличие было разительным.»³² Предсказанная машиной погода полностью отличалась от погоды, рассчитанной ранее. «После кропотливой проверки»³³ Э.Н. «Лоренц выяснил, что ЭВМ использовала числа с шестью знаками после запятой, но выдавала их округлёнными до трёх знаков. Поэтому введенному числу 0,506 на распечатке соответствовало машинное число 0,506127.»³⁴

«Но каким образом столь малая разница на входе могла привести к такому разительному расхождению на выходе?»³⁵ Э.Н. «Лоренц заново открыл явление,»³⁶ которое уже было известно математикам, о котором говорил в своё время «французский математик, физик, астроном и философ»³⁷ «Жюль Анри Пуанкаре (фр. Jules Henri Poincaré»³⁸) – насколько конечный результат может быть чувствителен к начальным условиям.

В 1885 г. король Швеции и Норвегии «Оскар II организовал математический конкурс»³⁹. «Самой сложной была первая»⁴⁰ тема этого конкурса: «рассчитать движение гравитирующих тел Солнечной системы.»⁴¹ Ж.А. «Пуанкаре показал, что эта задача»⁴² (задача гравитационно взаимодействующих трёх тел) «не имеет законченного математического решения»⁴³, но может иметь приближённые решения. При этом он «столкнулся с необычным положением, когда»⁴⁴ «при достижении системой определённой степени сложности»⁴⁵ «не-

³¹ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 168.

³² Там же.

³³ Там же.

³⁴ Там же.

³⁵ Там же. С. 169.

³⁶ Там же.

³⁷ Пуанкаре, Анри. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%F3%E0%ED%EA%E0%F0%E5_%C0%ED%F0%E8

³⁸ Там же.

³⁹ Там же.

⁴⁰ Там же.

⁴¹ Там же.

⁴² Там же.

⁴³ Там же.

⁴⁴ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 166-167.

⁴⁵ Там же. С. 167.

большие расхождения в начальных условиях ведут к огромным различиям»⁴⁶ в результате.

«Чтобы заострить внимание на том, как малые различия ведут к большим последствиям, а возможно, руководствуясь наглядным образом странного аттрактора, своё выступление»⁴⁷ в 1972 г. «перед Американским обществом содействия науке»⁴⁸ Э.Н. «Лоренц озаглавил так: "Вызовет ли взмах крыла бабочки в Бразилии смерч в Техасе?" Выражение "эффект бабочки" вскоре стало общепринятым.»⁴⁹

«Системы уравнений с подобным поведением уже создавались и изучались независимо от возможности применять их к физическим системам.»⁵⁰

«В итоге возникла совершенно новая отрасль математики с, пожалуй, вводящим в заблуждение названием "теория хаоса", придуманным математиком Джеймсом Йорком»⁵¹ (англ. James York) «из Мэрилендского университета»⁵². «К сожалению, слово *хаос* подразумевает совершенный беспорядок, что в корне неверно.»⁵³ Беспорядочным называют такое поведение системы, когда оно конечно же определяется постоянно действующими факторами (воздействиями), но мы не можем или не хотим их учитывать. Таким образом, мы не можем объяснить чем вызвано, обусловлено то или иное изменение параметров системы. Хаотическое же поведение системы возникает, когда все определяющие его факторы известны, но из-за чрезвычайной чувствительности расчётов к малым ошибкам, изменению начальных условий из-за погрешности измерений выявляется несколько возможных вариантов (спектр, веер вплоть до огромного множества в рамках какого-то диапазона, интервала) поведения изучаемой системы в будущем. Наблюдается случайность в поведении системы, которая определяется как отсутствие строгой, единственно возможной закономерности и, что взаимосвязано, как невозможность точного, однозначного,

⁴⁶ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 167.

⁴⁷ Там же. С. 169.

⁴⁸ Там же.

⁴⁹ Там же.

⁵⁰ Там же.

⁵¹ Там же. С. 170.

⁵² Там же.

⁵³ Там же.

строго (жёстко) детерминированного прогнозирования будущего поведения такой системы. Получается, что точно прогнозировать, какой из этих вариантов реализуется в будущем, не представляется возможным. Возможен только лишь вероятностный прогноз, когда рассчитывается степень (доля) возможности наступления каждого варианта из ряда ожидаемых (их вероятность как числовая мера случайности, численная мера степени объективной возможности наступления случайного события) или даже указывается диапазон возможного случайного варьирования параметров системы. Явление, когда поведение системы невозможно точно прогнозировать из-за её чувствительности к незначительному изменению начальных условий, называется динамическим хаосом. Динамическим хаосом можно назвать и изменение погоды. Конечно же погода не изменяется абсолютно случайным, ничем не обусловленным образом. «Общая картина погоды хорошо всем известна: лето тёплое, а зима холодная. Чего нам недостает, так это подробностей: насколько тёплой или холодной будет погода, и ждать непогоду спустя неделю или же ровно через час.»⁵⁴ Но точный прогноз погоды построить просто невозможно, и приходится довольствоваться вероятностным характером прогноза погоды, когда объявляют, например, температуру днём на завтра от 5 до 7 °С, ветер от западного до северо-западного, выпадение дождя местами, возможно с грозой.

«Если раньше прогнозы»⁵⁵ погоды строились в основном на основе наблюдаемых изменений метеорологических элементов и атмосферных явлений», то сейчас для определения будущей погоды применяются модели прогнозирования.»⁵⁶ «Разработка сложных моделей атмосферы – одна из главных заслуг метеорологии в XX веке.»⁵⁷ «Участие человека необходимо для выбора наиболее подходящей модели прогнозирования, на которой в дальнейшем будет основываться прогноз. Это включает в себя умение выбрать шаблон модели,

⁵⁴ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 170.

⁵⁵ Погода. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E3%E4%E0>

⁵⁶ Там же.

⁵⁷ Чучуева И. История развития моделей прогнозирования погоды. URL: <http://www.mbureau.ru/articles/istoriya-razvitiya-modeley-prognozirovaniya-pogody>

учёт взаимосвязи удалённых событий, знание принципов работы и особенностей выбранной модели.»⁵⁸

9. Почему невозможны точные прогнозы погоды и почему их точность (оправдываемость) снижается при возрастании заблаговременности периода

«Получив для наблюдения столь замечательное собрание атмосферных газов на Земле, наука готовилась создать предполагаемую модель долгосрочного (климат) и краткосрочного (погода) поведения атмосферы.»⁵⁹

«Земная атмосфера – то сырье, из которого синоптики готовят свои отчаянные прогнозы.»⁶⁰ «Присущие ей особенности делают прогнозирование»⁶¹ погоды «трудным и кропотливым занятием. Предсказание погоды оказывается значительно запутанней, чем кажется на первый взгляд.»⁶²

«Сложная природа атмосферы,»⁶³ высокая динамичность тропосферы, «необходимость мощной вычислительной техники для решения уравнений, описывающих»⁶⁴ изменение погоды, наличие погрешностей при измерении начальных условий»⁶⁵, когда в серии измерений получается не одно значение, а множество отличающихся друг от друга значений, укладывающихся в определённом диапазоне (интервале), «неполное понимание атмосферных процессов»⁶⁶, особенно по причине крайней затруднительности, граничащей с невозможностью, учесть все факторы (воздействия), определяющие погоду, а также несовершенство математических моделей «означают, что точность»⁶⁷ прогнозирования погоды может быть невысокой, а точные прогнозы погоды в принципе невозможны. «Помогает снизить погрешность и получить наиболее вероятный

⁵⁸ Погода. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E3%E4%E0>

⁵⁹ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 165.

⁶⁰ Там же. С. 164.

⁶¹ Там же.

⁶² Там же.

⁶³ Погода. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E3%E4%E0>

⁶⁴ Там же.

⁶⁵ Там же.

⁶⁶ Там же.

⁶⁷ Там же.

результат»⁶⁸ «использование нескольких моделей и приведение их к единому результату»⁶⁹. Причем, «чем больше разница между настоящим временем и временем, на которое делается прогноз»⁷⁰ (выше заблаговременность), тем меньше его точность (ниже оправдываемость). Сейчас оправдываемость сверхкраткосрочных прогнозов погоды достигает 95-96 %, краткосрочных – 85-95 %, среднесрочных – 65-80 %, долгосрочных – 60-65 %, сверхдолгосрочных – около 50 %.

Тогда почему же прогнозы погоды такие неточные? Иначе говоря, почему точный долгосрочный прогноз погоды все ещё оказывается нерешённой задачей?

Ответ один: размеры и сложный характер атмосферы. Оказывается, при достижении системой определенного уровня сложности математическое предсказание начинает столь сильно зависеть от начальных условий, что малейшие изменения приводят к совершенно неожиданным конечным результатам. Сжатое изложение такой восприимчивости к начальным условиям именуют теорией хаоса, под которой часто ошибочно подразумевают полный произвол.

Особенности синоптического состояния земной атмосферы и его изменения, похоже, перечёркивают «все попытки создать модели, которые давали бы»⁷¹ абсолютно точные прогнозы погоды, даже сверхкраткосрочные. Прогнозы погоды могут быть только вероятностными. Но нуждаемость человечества в повышении точности (оправдываемости) вероятностных по своей сути прогнозов погоды подталкивает к совершенствованию применяемого метода математического моделирования, или численного (вычислительного) метода. И это оказывается крупнейшей всё ещё нерешённой задачей наук о Земле (геонаук).

⁶⁸ Погода. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E3%E4%E0>

⁶⁹ Там же.

⁷⁰ Там же.

⁷¹ Уиггинс А., Уинн Ч. Пять нерешенных проблем науки. М. ФАИР-ПРЕСС. 2005. С. 140.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Как предсказывают погоду [Электронный ресурс]. URL: http://www.kubanmeteo.ru/index.php?catid=1:articles&id=96:2010-12-13-19-04-16&Itemid=35&option=com_content&view=article (дата обращения: 08.01.2015)

Лоренц, Эдвард Нортон [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CB%E0%F0%E5%ED%F6,%DD%E4%E2%E0%F0%E4_%CD%E0%F0%F2%E0%ED (дата обращения: 02.02.2013)

Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы [Текст] / Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

Погода [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E0%E3%E0%E4%E0> (дата обращения: 21.01.2013)

Пуанкаре, Анри [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%F3%E0%ED%EA%E0%F0%E5,%C0%ED%F0%E8> (дата обращения: 02.02.2013)

Ричардсон, Льюис Фрай [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%E8%F7%E0%F0%E4%F1%E0%ED,%CB%FC%FE%E8%F1_%D4%F0%E0%E9 (дата обращения: 02.02.2013)

Уиггинс, А. Пять нерешенных проблем науки [Текст] / Артур Уиггинс, Чарлз Уинн ; пер. с англ. А. Гарькавого. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 304 с.

Цюпка, В. П. Естественнонаучная картина мира: концепции современного естествознания [Текст] : учеб. пособие / В. П. Цюпка. – Белгород : ИПК НИУ «БелГУ», 2012. – 144 с.

Цюпка, В. П. К содержанию концепций современного естествознания [Текст и электронный ресурс] / В. П. Цюпка // Дошкольник и младший школьник в системе современного естественно-математического образования : сб. докл. межрегион. науч.-практ. Интернет-конф., Белгород, 7-20 нояб. 2006 г. – Белгород : Велес, 2007. – С. 94-101. URL: http://www.bsu.edu.ru/_files/Resource/InetConfYoungSchool/Tsjupka.zip (дата обращения: 07.11.2006)

Цюпка, В. П. Концепции современной физики, составляющие современную физическую картину мира [Электронный ресурс] / В. П. Цюпка // Научный электронный архив Российской Академии Естествознания : заоч. электрон. науч. конф. «Концепции современного естествознания или естественнонаучная картина мира» URL: <http://econf.rae.ru/article/6315> (размещено: 31.10.2011)

Численный прогноз погоды [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B (дата обращения: 21.01.2013)

Чучуева, И. История развития моделей прогнозирования погоды [Электронный ресурс] / Ирина Чучуева. URL: <http://www.mbureau.ru/articles/istoriya-razvitiya-modeley-prognozirovaniya-pogody> (дата обращения: 03.01.2015)

