

В.И. Акселевич

**ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
МЕЗОНЕОДНОРОДНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

V.I. Akselevich

**ORDER OF DEVELOPMENT OF WEATHER FORECASTS AND MODELING
OF MESOHETEROGENEITIES WITH USE OF MODERN INFORMATION
TECHNOLOGIES**

В статье описывается непосредственный порядок разработки прогноза погоды и приводится алгоритм моделирования мезонеоднородностей. Существенное внимание уделяется проблеме оптимального выбора гидрометеороинформации для прогноза погоды. Обсуждается возможность выявления мезонеоднородностей с помощью фракталов. Описываются модели мезонеоднородностей на основе струй и пузырей.

Ключевые слова: гидрометеороинформация, мезонеоднородность, фракталы, противоречия, информационные технологии, прогноз погоды, окружающая среда.

In article the direct order of development of a weather forecast is described and the algorithm of modeling of mesoheterogeneities is given. The essential attention is paid to a problem of an optimum choice of hydrometeoroinformation for a weather forecast. Possibility of identification of mesoheterogeneities by means of fractals is discussed. Models of mesoheterogeneities on the basis of streams and bubbles are described.

Key words: hydrometeoroinformation, mesoheterogeneity, fractals, contradictions, information technologies, weather forecast, environment.

Одна из важнейших проблем прикладной гидрометеорологии заключается в обеспечении эффективного усвоения и использования большого объема гидрометеорологической информации в интересах количественного описания физических параметров окружающей среды и оптимального прогноза.

Данная проблема вызвана наличием противоречий между увеличением объема поступающей гидрометеороинформации и уменьшением времени на ее осмысление, между необходимостью количественного описания физических параметров окружающей среды и качественным характером принимаемого решения, между важностью учета влияния окружающей среды и отсутствием приоритета гидрометеорологического обеспечения у лиц, принимающих решения (ЛПР) [12].

Попутно требуется разрешить проблемы принятия оптимальных решений в условиях «переизбытка» и «недостатка» информации и ранжирования методов получения информации по их эффективности, поставленные в [5].

С каждым годом растут объемы использования информационных технологий в гидрометеорологии. В конце 90-х гг. XX в. произошла настоящая революция в работе метеоспециалистов. Во многом она связана с компьютеризацией рабочего места

синоптика. Массовое применение информационных технологий позволило существенно удешевить процесс сбора и распространения гидрометеороинформации, облегчить и сделать более удобными ее обработку и анализ, повысить оперативность работы, увеличить точность отображения исходной информации, облегчить хранение информации и организацию быстрого доступа к ней, и, главное, дает новые возможности для решения одной из основных задач метеорологии: повышения качества и увеличения заблаговременности прогноза погоды [10].

Вместе с тем возникла проблема обеспечения эффективного усвоения и оптимального использования все большего объема поступающей гидрометеорологической информации в интересах адекватного количественного описания физических параметров окружающей среды по всему объему решаемых задач.

Эта проблема вызвана наличием противоречий между увеличением объема поступающей информации и уменьшением времени на ее осмысление, между необходимостью количественного описания и учета физических параметров окружающей среды и качественным характером принимаемого решения, между важностью учета влияния окружающей среды и отсутствием приоритета метеообеспечения у ЛПР.

Первое противоречие связано с возможностями человеческой психики и отсутствием средств объективного учета и ранжирования информации. Избыток информации ведет к ухудшению качества анализа и прогноза [5]. Недостаток информации не позволяет осуществить качественный анализ и как следствие приводит к ухудшению результатов прогноза. Поэтому приходится осуществлять поиск оптимума методом проб и ошибок, а это весьма трудоемкий и времязатратный процесс, тем более, что при изменении 1–2 качественных параметров его приходится начинать заново.

Второе противоречие напрямую связано с философскими категориями качества и количества. Дело в том, что гидродинамические модели, статистические и аналитические методы на выходе дают числа, а использует их при принятии решения ЛПР, которому, как правило, надо принять качественное решение: как выполнять задачу или проводить мероприятие либо отложить в зависимости от состояния гидрометеорологических условий. Матрицы взаимовлияний пока отработаны далеко не для всех задач. Весьма затруднительно свести их к количественным соотношениям.

Наконец, третье противоречие касается отношения ЛПР к учету влияния состояния окружающей среды на выполнение различных задач. Менталитет руководства (не только российского) таков, что условия окружающей среды второстепенны. Этому учит печальный опыт Чингиз-Хана, Наполеона, Гитлера, о котором упоминается только в учебниках по метеорологии в качестве поучительного примера пренебрежения гидрометеорологическими условиями при планировании кампаний. Здесь можно вспомнить и Российское руководство, забывшее Росгидромет в перечне министерств и комитетов, и ВС, где даже начальник Гидрометслужбы ВС РФ не имеет генеральского звания.

С помощью вычислительной техники в интересах гидрометеорологической службы решаются следующие задачи:

- сбор и распространение информации;
- расчеты всех видов;
- хранение информации;
- архивирование информации;

- поиск необходимых сведений;
- визуализация и представление информации ЛПР;
- моделирование;
- оптимизация;
- ранжирование;
- классификация;
- прогноз;
- обучение.

Рассмотрим более детально порядок выполнения стоящих перед метеоспециалистами задач или алгоритмы их деятельности.

Основными каналами получения гидрометеорологической информации в РФ следует назвать Обнинский ВНИИГМИ-МЦД (мировой центр данных), связанный с 2 другими мировыми центрами в Мельбурне и Вашингтоне, региональные центры (в России — Новосибирск и Хабаровск), центры передачи факсимильных карт, пункты приема спутниковой информации, абонентские пункты систем WAFS и GTS, позволяющие получать гидрометеоинформацию через ретрансляторы на спутниках [2].

Основные направления применения вычислительной техники и информационных технологий в гидрометеорологии связаны с оперативной работой по сбору и распространению гидрометеорологической информации, по приему, обработке и анализу аэросиноптического материала, использованием расчетных методов прогноза метеовеличин и явлений погоды, обработкой данных радиозондирования и радиолокационной разведки, интерпретацией и усвоением спутниковой информации, кодированием и раскодированием различных материалов с помощью специальных технологий, обновлением и составлением климатических справок и описаний [8].

Еще одна задача связана с выработкой подходов к оценке стоимости и эффективности выполнения частных задач в зависимости от используемых данных и инструментов для получения искомым продуктов [3].

Важное значение имеет задача применения в моделировании мезонеоднородностей (МЗН) теории и методов расчета, использующих свойства фракталов [9, 11]. Среди других задач следует отметить обобщение направлений использования вычислительной техники в гидрометеорологии и выработку общих принципов ее применения.

Следующая задача состоит в необходимости формулирования требований к программному и алгоритмическому обеспечению. Необходимо классифицировать и ранжировать методы прогноза метеовеличин и явлений погоды.

Оперативность сбора данных не должна превышать 1–1,5 ч относительно срока наблюдений, что достигается только использованием вычислительной техники.

При разработке прогноза погоды в обязательном порядке учитывается влияние местных физико-географических особенностей на развитие атмосферных процессов, суточный и сезонный ход метеовеличин и явлений погоды [6].

Характерные размеры так называемых мезомасштабных явлений погоды составляют от 1–2 до 1 000–2 000 км, а время существования — от десятков минут до 1–2 суток. В соответствии с принятой классификацией (табл. 1) масштабы варьируют от планетарного (макромасштаб) до микромасштаба.

Таблица 1

Масштабы атмосферных процессов

Характеристика	Масштаб			
	Планетарный	Синоптический	Мезомасштаб	Микромасштаб
Горизонтальный масштаб ($L, м$)	10^7	10^6	$10^6 - 10^4$	$\leq 10^3$
Временной масштаб ($\phi, с$)	10^6	10^5	$10^4 - 10^2$	$< 10^2$

Основными источниками получения данных о мезомасштабных процессах являются МИСЗ, МРЛ, системы так называемой «молниевой локации», наземные метеорологические станции, в том числе метеорологические мачты, вышки, башни и средства дистанционного зондирования. Для этих же целей используется специальное оборудование на борту летательных аппаратов.

Решение самых насущных проблем наукастинга и определения размеров и свойств МЗН тесно связано с использованием информационных технологий. Рассмотрим более подробно вопросы обнаружения МЗН в пограничном слое атмосферы и прогноза их эволюции. Здесь требуется сочетание физического и математического моделирования, а также использование теории фракталов [9].

Поскольку макромасштабные модели не могут достаточно точно описать фактические изменения погоды в данной точке и в данный период времени, то возникает необходимость построения мезомасштабных моделей.

Первый шаг в решении проблемы — физическое моделирование. Физическая модель формулируется таким образом, чтобы в ней обеспечивалось непосредственное моделирование мезомасштабных движений [1]. По своим свойствам МЗН — это разнородные включения воздуха в структуре метеорологических полей. Они выражаются изменениями метеовеличин периодами от нескольких минут до нескольких часов (см. табл. 1).

Для дальнейшего исследования представляет собой интерес типизация мезомасштабных процессов в зависимости от изменения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, предложенная в [6].

Прежде чем приступить к моделированию мезометеорологических объектов и процессов, следует рассмотреть некоторые зависимости пространственно — временного распределения полей температуры, давления и ветра, а также подходы к физическому моделированию более подробно описанные в [11].

На основании предположения, что МЗН случайно распределены в пространстве и что их форма аппроксимируется телами вращения (с вертикальной осью, см. рис. 1) можно получить соотношения, позволяющие рассчитать по экспериментально полученным распределениям $m(l)$ размеров l случайных горизонтальных сечений распределения МЗН по действительным размерам [4]. Поскольку форма МЗН однозначно не установлена, указанные соотношения выведены для случаев, когда МЗН, представляют собой некоторые цилиндрические струи диаметром S или пузыри в виде эллипсоидов вращения с горизонтальной осью меридионального сечения, размером α :

$$F_1(S) = -\frac{2\bar{S}S}{\pi} \int_S^\infty \frac{d}{dl} \left[\frac{\omega(l)}{l} \right] \frac{dl}{\sqrt{l^2 - S^2}}, \quad (1)$$

$$F_2(\alpha) = -\frac{\bar{\alpha}^2}{2} \frac{d}{d\alpha} \left[\frac{\omega(\alpha)}{\alpha} \right], \quad (2)$$

где $F_1(S)$ и $F_2(\alpha)$ — распределения МЗН по размерам диаметров струй и горизонтальных осей эллипсоидов, а \bar{S} и $\bar{\alpha}^2$ — моменты первого и второго порядка величин S и α .

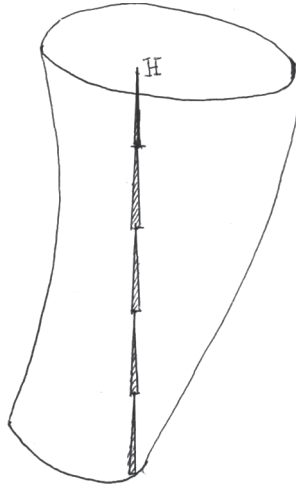


Рис. 1. Схематическое изображение барического поля мезонеоднородности в районе башни

Концентрация струй N_1 , или пузырей N_2 определяется из соотношений:

$$n = LN_1\bar{S}, \quad (3)$$

$$n = L \frac{\pi}{4m} N_2 \bar{\alpha}^2, \quad (4)$$

где n — число потоков пересеченных сечением на пути L ; m — отношение горизонтальных осей эллипсоидов к вертикалям).

Относительные площади S или объемы V МЗН могут быть определены так же из соотношения

$$S = V = \frac{n}{L} \bar{l}, \quad (5)$$

где \bar{l} — момент первого порядка случайных сечений МЗН.

Полученные соотношения, позволяют, при известном законе изменения температуры внутри МЗН рассчитать распределение струй $F_1(S, T_0)$ или пузырей $F_2(\alpha, T_0)$ по

действительным размерам и превышениям температуры в их центрах T_0 (по отношению к температуре окружающего воздуха) на основании экспериментальных распределений $\omega(l, T)$ размеров случайных сечений и превышений температур T в них:

$$F_1(S, T_0) = -\frac{2\bar{S}}{\pi S^{\lambda-1}} \int_S^\infty \frac{d[l^{\lambda-1} \omega(l, T_0)]}{dl} \frac{dl}{\sqrt{l^2 - S^2}}, \quad (6)$$

$$F_2(\alpha, T_0) = -\frac{\bar{\alpha}^2}{2\alpha^\lambda} \frac{d}{d\alpha} [\alpha^{\lambda-1} \omega(\alpha, T_0)], \quad (7)$$

где λ — параметр, определяющий конкретный вид класса зависимости изменения температур внутри МЗН. Для случая струй она предполагается в виде:

$$T = T_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^{\frac{\lambda}{2}} = T_0 \frac{l^\lambda}{S^\lambda}, \quad (8)$$

где r — расстояние от центра струи до центра сечения размером l ; R — радиус струи.

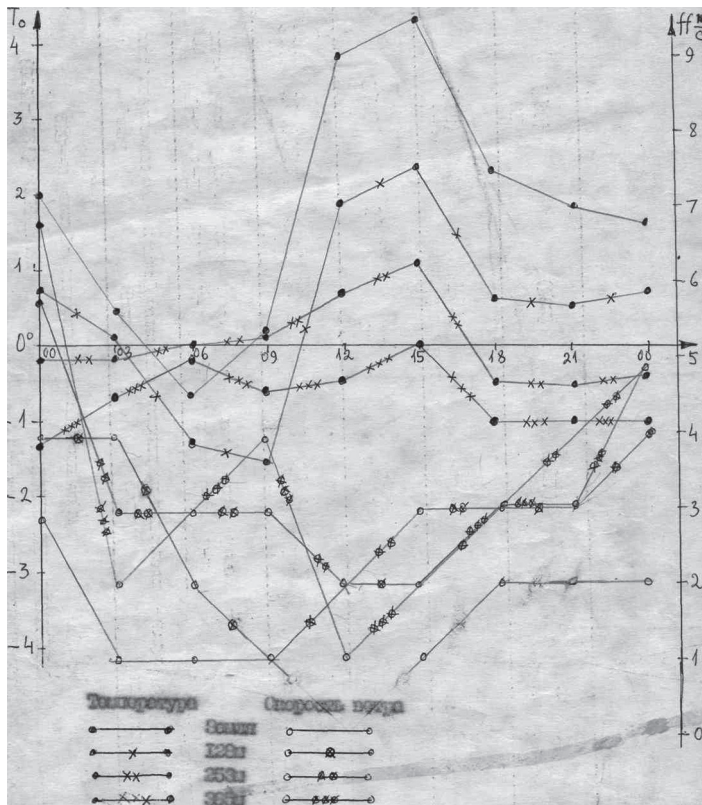


Рис. 2. График изменения температуры и скорости ветра в Останкино

Рассчитанные по (6) и (7) распределения дают возможность исследовать:

- 1) статистические зависимости между размерами МЗН и температурой внутри них;
- 2) изменение температуры МЗН с высотой, вдоль оси струй, что дает возможность проверить применимость существующих теорий струй к условиям реальной атмосферы.

Обобщение на n переменных позволяет исследовать статистические зависимости между всеми параметрами МЗН, которые могут быть измерены.

Выведены соотношения, позволяющие определить среднюю температуру в центрах МЗН непосредственно по данным измерений и по вычисленным распределениям только размеров МЗН. Для случаев струй и пузырей эти соотношения имеют вид:

$$T_0 = \frac{(\lambda + 1)\Gamma\left(\frac{\lambda}{2} + 1\right)}{\sqrt{\pi}\Gamma\left(\frac{\lambda + 3}{2}\right)} \bar{S}\left(\frac{\bar{T}}{l}\right), \quad (9)$$

$$T_0 = \frac{\lambda}{2} \bar{\alpha}^2 \left(\frac{\bar{T}}{l^2}\right). \quad (10)$$

В рамках предлагаемой теории интерпретации можно записать девять сочетаний таких физических параметров, как скорость и направление ветра (ff) и (dd), температура (T), время (t) и высота (H) поверхности или слоя. Отметим, что с высотой обычно растет скорость ветра и понижается температура, хотя, к примеру, над Москвой в осенне-зимний период очень часты инверсии, которые представляют собой частный вид мезометеорологических объектов.

Согласно [6] при вихревых МЗН преобладает последовательность правого, а затем левого вращения вектора ветра, наблюдающаяся примерно в 80 % случаев, в отличие от обратной. Строить розу ветров нецелесообразно, ибо связи направления ветра с его скоростью и с высотой не объясняют существа физической модели. Столь же частный, местный характер должны носить и закономерности направления ветра от времени и температуры от направления ветра. Временной ход температуры и скорости ветра сам по себе скорее относится к климатическим характеристикам. Остается весьма интересная взаимозависимость динамического и термического факторов, которую в первом приближении описывают значения скорости и температуры. Кроме статистических выкладок по прямой связи целесообразно проследить и характер зависимости изменения этих параметров по высоте и по времени [7].

Построенные нами графики изменения температуры и скорости ветра (пример приведен на рис. 2) показывают, что ход температуры и скорости ветра по высотам при достаточном сглаживании (в данном примере шаг по времени равен трем часам и вместо 8 уровней наблюдения на Останкинской башне взято всего 3) представляет собой достаточно ясно выраженную обратнопропорциональную зависимость. Другими словами, чем больше температура, тем меньше скорость ветра на каждом отдельно взятом уровне.

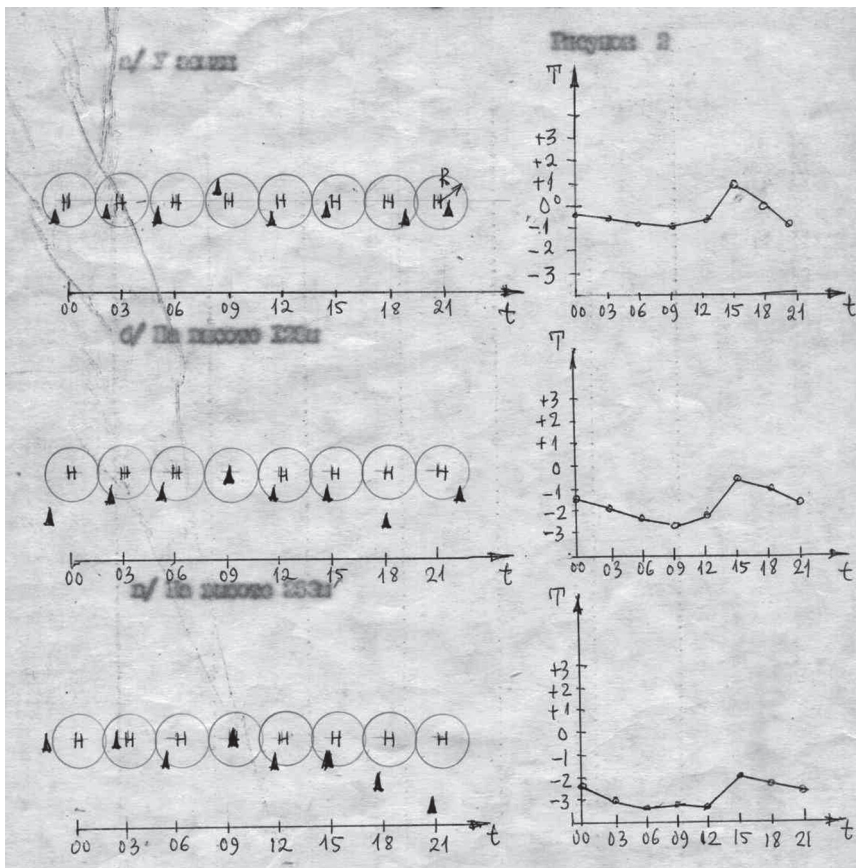
Добавление к графику данных о направлении ветра суживает в данном случае задачу до пределов конкретного района Останкинской башни.

По данным о температуре, скорости и направлении ветра, измеренным на башне, построим барическое поле в пространстве и во времени.

Для получения представления о физике процесса можно принять следующее:

1. Скорость ветра в центре мезоциклона равна нулю.
2. Мезоциклон представляет собой область низкого давления с идеально круглыми замкнутыми изобарами.
3. Усиление скорости ветра связано с удалением от центра циклона, так как градиент давления по горизонтали считается постоянным.

Учитывая эти три условия, можно нарисовать некоторую модель мезомасштабного объекта. Здесь возможны несколько вариантов, один из которых представлен на рис. 3.



▲ — расположение башни

Рис. 3. Схема барического образования в районе Останкино 28 октября 1978 г.

Таким образом, развитие методов количественного учета метеоусловий, оснащение метеослужбы новыми техническими средствами и современной вычислительной техникой, перевод на интенсивную технологию информационно-расчетной работы способны содействовать улучшению гидрометеобеспечения в большом городе.

Литература

1. *Акселевич В.И.* К вопросу о физическом моделировании мезометеорологических образований в нижнем слое атмосферы. // Труды ЦВГМО, 1985, вып. 22, с. 67–75.
2. *Акселевич В.И., Мазуров Г.И.* Использование вычислительной техники и информационных технологий в науках о Земле. — СПб.: Инфо-да, 2010. — 301 с.
3. *Воробьев В.И.* Синоптическая метеорология. 2-е изд., перераб., доп. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 616 с.
4. *Вульфсон Н.И.* Исследование конвективных движений в свободной атмосфере. — М.: изд. АН СССР, 1961. — 252 с.
5. *Ивахненко А.Г.* Переборные методы моделирования и кластеризации. // Автоматика, 1988, № 4, с. 3–16.
6. *Клинов Ф.Я.* Нижний слой атмосферы в условиях опасных явлений погоды. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 256 с.
7. *Лазарева Е.О., Попова Е.С.* Особенности пространственно-временной динамики антропогенных примесей воздуха г. Санкт-Петербурга за период времени с 1980 по 2012 г. (на примере оксида углерода, диоксида азота, взвешенных веществ). // Учёные записки РГГМУ, 2014, № 37, с. 204–215.
8. *Мазуров Г.И., Акселевич В.И., Биденко С.И.* Облачные мезонеоднородности и возможности управления их эволюцией в целях создания локальных благоприятных условий погоды. — СПб.: «Технолит», 2013. — 191 с.
9. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. — 656 с.
10. *Молдаванов Л.М., Акселевич В.И., Веселкин М.Г.* Современные информационные технологии и гидрометеорология. // Тез. докл. 1 городской научно-практической конференции военных учебных и научных учреждений Санкт-Петербурга «Военная наука и образование — городу» 20–22 мая 1997 г. — СПб., 1997. — 349 с.
11. *Федер Е.* Фракталы. — М.: Мир, 1991. — 260 с.
12. *Тертышников А.В., Глухов Я.В.* Результаты зондирования высокоширотной ионосферы в эксперименте вдоль Северного морского пути 28.08.2011–16.09.2011. // Учёные записки РГГМУ, 2014, № 36, с. 138–149.