

Н.А. МИРСАЕВА

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Н.А. МИРСАЕВА

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ**

*Учебно-методическое пособие
для магистров направления 05.04.04 «Гидрометеорология»*

**КАЗАНЬ
2018**

УДК 551.509

ББК 26.23

*Печатается по рекомендации методической комиссии
Института экологии и природопользования
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
(протокол №7 от 28 ноября 2018 г).*

*заседания кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы
(протокол №4 от 15 ноября 2018 г).*

Рецензенты:

кандидат географических наук, доцент КФУ **М.А. Верещагин**;
кандидат географических наук, доцент КФУ **А.А. Николаев**

Мирсаева Н.А.

Статистические методы долгосрочного прогноза погоды:
учеб.-метод. пособие / Н.А. Мирсаева – Казань: Изд-во Казан.
ун-та, 2018. – 21 с.

Данное пособие составлено в соответствии с материалом курса лекций «Долгосрочные метеорологические прогнозы», читаемой магистрам, обучающимся по направлению 05.04.04 «Гидрометеорология». В него включены основные понятия, используемые в указанной дисциплине, а также уделяется основное внимание теоретическим основам статистических методов долгосрочного прогноза погоды (ДПП). Пособие предназначено для студентов вузов, аспирантов и преподавателей.

УДК 551.509

ББК 26.23

© Мирсаева Н.А., 2018

© Издательство Казанского университета, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ДПП	4
1.1. Статистические методы, использующиеся для оптимизации информации расчета численных моделей погоды на срок от месяца и более	6
2. ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	8
2.1. История физико-статистического подхода ДПП.....	8
2.2. Физико-статистический метод ГГО	12
2.3. Метод многофакторной регрессионной средней (МРС) ...	13
2.4. Метод прогноза сезонной аномалии температуры воздуха по данным об облачности в Северной Атлантике.....	14
3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ.....	16
3.1. История статистического подхода ДПП.....	16
3.2. Прогноз сезонной аномалии температуры воздуха по методу Багрова и Мякишевой (Гидрометцентр России).....	19
4. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДПП....	20
Список рекомендуемой литературы.....	21

1. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ДПП

Атмосфера является нелинейной динамической системой, и не может быть предсказуемой детерминистически. Поэтому статистические методы и модели являются

существенной частью прогностических методик.

Статистические модели условно можно разделить на детерминистические и стохастические.

1) В детерминистических моделях предикторы и предиктанты выражают физические величины, которые можно связать детерминистической зависимостью.

2) В стохастических (вероятностных) моделях предикторы и предиктанты рассматриваются как случайные величины.

Все статистические методы прогноза в широком смысле можно разделить на две части.

1) Классические методы.

Методы, которые применяются на основе данных наблюдений.

2) Методы, использующиеся для оптимизации информации численных моделей прогноза погоды.

Статистические, прогностические модели используются для уточнения, коррекции и детализации результатов гидродинамических методов прогноза. Кроме того, комбинация статистических и численных методов необходима как для разработки прогнозов в терминах вероятности.

Выделяются пять видов физико-статистического долгосрочного прогноза погоды:

- Регрессионный метод;
- Метод аналогов;
- Вероятностный метод;
- Экстрополяционный метод;
- Дискриминантный метод.

Классические методы:

1. Предполагается, что предикторы и предиктанты являются данными наблюдений.

2. Основаны на асинхронных статистических связях между атмосферными процессами и явлениями погоды и построены на следующих предположениях:

- Существует детерминированный метеорологический процесс, конкретные реализации которого искажены случайными отклонениями.
- Случайные отклонения процесса являются нормально распределенной многомерной совокупностью.
- Временной ряд метеорологических данных, после выделения трендов и периодических составляющих, является стационарным, случайным процессом.
- Детерминистический процесс является линейной функцией своих аргументов.

Если значение функции, описывающей какой-либо физической процесс, определяется в каждый момент времени по значениям ее аргументов в предшествующие моменты времени, то функция является прогностической, а ее аргументы становятся предикторами.

Качество прогноза определяется выбором предикторов.

➤ Выбор предикторов зависит:

- a) от знания физических процессов протекающих в системе океан-атмосфера,
- b) наличия доступных баз метеорологических данных;
- c) интуиции прогнозиста, то есть физического обоснования статистических связей.

➤ Предикторы должны описывать наиболее важные черты начального состояния физической системы и описывать процессы одного масштаба.

Атмосферные процессы в конкретной географической точке непредсказуемы по своему поведению в прошлом. Но прогноз становится возможным при зональном осреднении параметров.

Предел статистической предсказуемости приземной температуры воздуха, в отдельных широтных зонах Северного полушария, достигает четырех-пяти лет. В умеренных и низких широтах предел предсказуемости не превышает одного года.

Пространственное осреднение поля приземного давления ведет к увеличению статистической предсказуемости (этот эффект наиболее выражен для температуры воздуха).

Связи, между предикторами и предиктантом, в классических методах обычно оформляются в виде уравнения регрессии. Построение адекватных регрессионных моделей требует соблюдения высокой точности наблюдений.

Недостаток в понимании связей между предиктором и предиктантом часто отражает отсутствие физического смысла такой связи.

Разновидностью статистических методов являются синоптико-статистические методы. Их особенность в том, что статистические связи устанавливаются с учетом синоптического анализа. Одним из таких методов является метод аналогов.

Метод аналогов реализует представление о том, что атмосфера является моделью самой себя. Метод ограничен тем фактом, что атмосфера не всегда точно повторяет свое прошлое состояние. Статистические идеи метода заключены в реализации процедуры поиска и ранжирования найденных аналогов в соответствии с их близостью к текущему процессу.

1.1. Статистические методы, использующиеся для оптимизации информации расчета численных моделей погоды на срок от месяца и более

Классические методы статистических прогнозов погоды чаще всего применяются для оптимизации практического численного прогнозирования.

В качестве предикторов используются результаты расчетов численной модели.

Применение статистических процедур, для восстановления прогностических полей, делает прогноз комплексным гидродинамико-статистическим.

Существуют базовые предпосылки, в соответствии с которыми статистические методы полезно применять для интерпретации результатов расчета гидродинамических моделей:

1) Численные модели упрощают и гомогенизируют состояние подстилающей поверхности. Важные местные особенности погоды остаются не учтенными. Статистические зависимости призваны решить эту проблему.

2) Численные модели подвержены накоплению ошибок прогноза. Статистические методы могут компенсировать и корректировать эти ошибки.

3) Численные модели детерминистичны по своей природе. Использование статистических методов позволяет рассчитать степень неопределенности прогноза и разработать вероятностный прогноз.

Гидродинамико-статистические методы можно разбить на два больших класса:

I. Концепция «Perfect Prog» (PP) разработана в 60-ые годы 20 века для привязки прогнозов по численным моделям к конкретным географическим пунктам.

➤ В «PP» в качестве предикторов берутся рассчитанные по модели значения метеорологических величин, а предиктантом является значение метеопараметра в конкретной точке.

➤ Разработка уравнений регрессии «PP» подобна разработке уравнений регрессии в классических методах. Коэффициенты уравнения получены из анализа рядов данных наблюдений и объективного анализа. Результатов расчета модели для получения коэффициентов не требуется.

➤ Метеорологические величины, которые невозможно спрогнозировать при помощи численной гидродинамической модели, не могут быть включены в число предикторов.

➤ «PP» не исправляет возможные ошибки численных моделей, а считает прогноз идеальным.

II. Концепция «Model Output Statistics» (MOS) разработана [*National Weather Service*](#) США, для уточнения прогнозов численных моделей в 1976 году.

➤ Метод «MOS» использует в качестве предикторов данные, полученные на выходе численной прогностической модели, а предиктантом является значение метеопараметра в конкретной точке.

➤ Отличием между «MOS» и «PP» является то, что уравнение регрессии в «MOS» получено по рядам данных наблюдений и результатам расчета модели. По предварительным испытаниям численной модели получают статистические зависимости между модельными расчетами и данными наблюдений.

➤ «MOS» используется для исправления регулярных ошибок расчета численной модели.

➤ При изменениях в численной модели заново рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии.

Недостатки «MOS»:

- a) сглаживание экстремумов в прогнозе;
- b) высокая зависимость от типа применяемой модели;
- c) необходимость пересчета коэффициентов уравнения регрессии при смене модели.

Методические подходы к решению задачи долгосрочного прогноза погоды статистическими методами так же можно разбить на два класса:

I. Физико-статистические методы.

Методы, устанавливающие причинно-следственные связи между аномалиями погоды и влияющими на их возникновение факторами.

а) Строится физически-обусловленная модель длительных колебаний погоды.

б) Предикторы определяются либо качественными соображениями, либо из гидродинамических уравнений, описывающих физику формирования прогнозируемого метеорологического элемента.

в) Могут быть простые однофакторные модели (предвестник в сезонных прогнозах Гидрометцентра России, связь облачности над Атлантикой с температурой на ЕТР).

г) Многофакторные статистические модели (метод ГГО, разработанный М.И. Юдиным).

д) В оперативной работе данные методы являются вспомогательными.

II. Статистические методы.

Методы, в которых не ставится задача физического, причинно-следственного описания процессов, но максимально используются прогностические возможности различных циклов, периодичностей, проявлений инерционности во временных рядах самих метеорологических величин. *Физические причины возникновения циклов и периодов, как правило, не рассматриваются.*

а) Гидрометеорологическая величина прогнозируется, исходя из поведения ее же значений в прошлом.

б) Разработанные на такой основе методы представляют собой формальные модели длительных колебаний погоды, их можно назвать также чисто статистическими методами.

в) В оперативной работе применяются как вспомогательные.

2. ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

2.1. История физико-статистического подхода ДПП

К этому направлению относятся самые первые попытки разработки научных методов долгосрочных прогнозов, когда еще не

было длинных архивов синоптических карт, и синоптические методы развиваться не могли.

Физико-статистический подход не устарел и в настоящее время является главным направлением привлечения новых предикторов для долгосрочных прогнозов, связанных с влиянием внешних факторов на циркуляцию атмосферы и формированием длительных аномалий погоды.

В самом начале развития долгосрочных прогнозов физико-статистическими методами часто исследовалось влияние именно внешних, по отношению к атмосфере, источников и стоков тепла.

Одним из первых физико-статистических методов, был метод полученный в результате исследований русского географа Э.Ф. Лесгафта (1902г.). В методе оцениваются статистические связи между колебаниями температурного режима Атлантического океана и положением траекторий циклонов в Европе. Оказалось, что при аномально теплой Атлантике траектории циклонов проходят севернее их климатического положения, а при аномально холодной - южнее. Этот вывод впоследствии был неоднократно подтвержден не только физико-статистическими исследованиями, выполненными на гораздо более богатой информационной базе, но и в процессе современных численных экспериментов с гидродинамическими моделями.

Основные принципы положенные в идею физико-статистического подхода:

- ✓ *Атмосфера представляет собою единую и непрерывную среду, поэтому возмущение, возникшее в одном участке атмосферы, должно передаваться и в другие ее части, конечно с запозданием и с возможным изменением характера возмущения.*
- ✓ *Общая масса атмосферы неизменна, поэтому отрицательные аномалии давления в одних частях атмосферы должны сопровождаться положительными аномалиями в других.*
- ✓ *Можно обнаружить связи между аномалиями циркуляции в весьма отдаленных районах как в один и тот же сезон, так и в сезоны, разделенные известным промежутком времени.*

Такого рода исследования начали производиться во второй половине XIX века. Долгое время использовалось простое сопоставление кривых хода метеорологических элементов в разных

районах и в разные периоды времени. В 20 веке начали применять метод корреляции.

По исследованиям Ханна, известно, что значительное заполнение или углубление исландской депрессии, в зимнее полугодие, вызывает повышение или понижение температуры в Северо-западной и даже в Центральной Европе. Большие аномалии давления у Исландии с корреляцией **+0.80** связаны с температурными отклонениями противоположного знака в Северо-западной Европе.

	<i>Аномалия давления у Исландии</i>	<i>Аномалия температуры в Гринвиче и Брюсселе</i>
<i>Зима</i>	<i>+8.6 мм. рт. ст.</i>	<i>- 1.5 °C</i>
<i>Лето</i>	<i>+3.8 мм. рт. ст.</i>	<i>- 0.5 °C</i>
<i>Зима</i>	<i>-7.7мм. рт. ст.</i>	<i>+0,4 °C</i>
<i>Лето</i>	<i>-5.0мм. рт. ст.</i>	<i>+0,7 °C</i>

Можно сопоставить разность давлений между Азорскими островами и Исландией с температурными условиями в Европе. Увеличение барических градиентов над Атлантикой создает положительную температурную аномалию в Западной и Центральной Европе.

Усиление Азорского антициклона, приводит, и к усилению Северо-Восточного пассата (коэффициент корреляции между интенсивностью западной циркуляции над Атлантикой и интенсивностью Северо-Восточного пассата равен **+ 0,78**). По Галле, положительные отклонения интенсивности Северо-Восточного пассата с июня по сентябрь совпадают с положительными отклонениями температуры последующей зимой (декабрь – февраль) на большей части Европы и с отрицательными отклонениями температуры в Гренландии, Исландии и на севере Британских островов, на севере Скандинавии и на севере РФ. Коэффициент корреляции для Германии **+0.81**.

Баур получил коэффициенты корреляции между месячными средними давления в Берлине и температурой в Германии.

Но связи между распределением давления и погодой не функциональные, а статистические. При одном и том же распределении давления не всегда преобладает та же самая погода.

Экснер исследовал месячные аномалии циркуляции в Северном полушарии зимою. Он изучал корреляции между давлением в

приполярном районе (Нордкап и Чукотка) и давлением в других районах северного полушария в последующий месяц.

В северной Европе знак барической аномалии совпадает с полярным районом, но величина корреляции к югу убывает. Между $40 - 50^\circ$ широты корреляция равна нулю, а затем становится отрицательной, причем в области Средиземного моря – на крайнем юге Европы и в северной Африке – коэффициент корреляции достигает – **0,70**.

Усиленная атмосферная циркуляция, связанная с отрицательной барической аномалией на севере, особенно сильно нагревает высокие и средние широты путем переноса теплых морских воздушных масс с запада. Нагревание обнаруживается в большей части Сибири, не столько за счет притока теплых масс, сколько вследствие ослабления Сибирского антициклона с его радиационным выхолаживанием.

Некоторые из исследований могут иметь и прогностическое применение. Уокер (Англия) пытался применить корреляционные связи между состоянием ряда метеорологических элементов в Индии для прогноза отклонений от нормы количества муссонных осадков. Он составлял линейные уравнения регрессии, представлявшие ожидаемое отклонение, как сумму отклонений других элементов в предшествующий период, умноженных на некоторые коэффициенты.

Визе (Россия) создал уравнения регрессии для средних месячных температур Ленинграда. Полный коэффициент корреляции, отвечающий этому уравнению, равен **+0,80**. Знаки отклонений от нормы, вычисленные по данному уравнению, в **88%** всех случаев совпадают с действительно наблюдавшимися.

Ветвь Гольфстрима, проходящая близ берегов Европы испытывает значительные колебания температуры из года в год, причем отклонения сохраняют знак в течение ряда месяцев.

Петерсен в 19 веке указал на то, что эти колебания параллельны колебаниям температуры воздуха в Европе, особенно в начале года и весной.

Мейнардус, анализируя наблюдения за 1861 – 1896гг., показал, что за повышенной температурой Гольфстрима у берегов Норвегии в ноябре – январе в 92% случаев следует повышенная температура в Средней Европе (Берлин) с февраля по апрель.

Бергстен по наблюдениям 1900 – 1933гг. вычислил коэффициенты корреляции непосредственно между температурой воды к югу от Исландии (между $59 - 61^\circ$ с.ш. и $10 - 30^\circ$ з.д.) за апрель –

октябрь и температурами воздуха последующей зимы (декабрь – март) на 18 станциях в Европе. Наибольший коэффициент корреляции получился между Исландией и Норвегией Торсхавен (-0,42). В Стокгольме коэффициент корреляции +0,05, в Выборге +0,14, в Париже -0,19, в Вене – 0,21.

Баур определил коэффициент корреляции между изменением температуры Гольфстрима в ноябре – январе в Кристианзунде и в феврале – марте в Берлине, из наблюдений за периоды: 1861 – 1890 гг. и 1890 – 1920 гг. Если в 1861 – 90 гг. (ряд, близкий к ряду Мейнардуса) коэффициент корреляции +0,73, то в 1890 – 1920 гг. коэффициент корреляции – 0,30.

Выводы Мейнардуса, верные для 60 – 80-х гг. XIX века, не соответствуют действительности в XX веке, и пользоваться ими с прогностическими целями нельзя. Баур указывает на необходимость, вычисляя корреляции, пользоваться большими рядами и проверять устойчивость корреляции.

2.2. Физико-статистический метод ГГО

Разрабатывался под руководством М.И. Юдина и неоднократно затем модифицировался. В настоящее время применяется для прогноза средних месячных значений температуры и количества осадков.

Потенциальные предикторы, используемые в методе, можно разбить на две принципиально различных группы.

1) Первая из них характеризует исходное состояние атмосферы и включает в себя: приземное давление, температуру воздуха, геопотенциал АТ500, количество осадков, облачность, число дней с формами циркуляции по Вангенгейму-Гирсу, индексы циркуляции атмосферы.

2) Вторая группа предикторов относится к внешним источникам и стокам тепла: температура воды в Северной Атлантике, теплосодержание верхнего 100-метрового слоя океана, ледовитость арктических морей, положение границы снежного покрова, индекс геомагнитной возмущенности.

Все исходные данные подвергаются процедуре разложения по естественным ортогональным составляющим. Для прогноза используются лишь несколько первых коэффициентов разложения, описывающих значительную часть дисперсии предикторов и, вместе с тем, не содержащих их мелких, случайных колебаний.

Рассчитывается ряд коэффициентов линейной корреляции между коэффициентами разложения полей предикторов и предиктантов и определяются наиболее значимые связи. Предусмотрен ежегодный пересчет связей с учетом вновь поступившей информации за прошедший год.

На основании отбора наиболее значимых и независимых друг от друга предикторов составляются прогностические уравнения множественной регрессии. Результатом расчета по данным уравнениям являются коэффициенты разложения будущих полей температуры и осадков. Наконец, производится восстановление этих полей, что и является прогностической продукцией данного метода.

2.3. Метод многофакторной регрессионной средней (МРС)

Метод был разработан А.В. Мещерской и М.П. Голод в 90-х годах XX столетия как альтернатива комплексному физико-статистическому методу, разработанному под руководством М.И. Юдина и используется в настоящее время.

Отличительная особенность обоих методов состоит в большой заблаговременности прогнозов (2 и более месяцев). В этом преимущество, так как подавляющее большинство разработанных методов прогноза температуры воздуха и осадков предполагает нулевую заблаговременность (рис. 1).

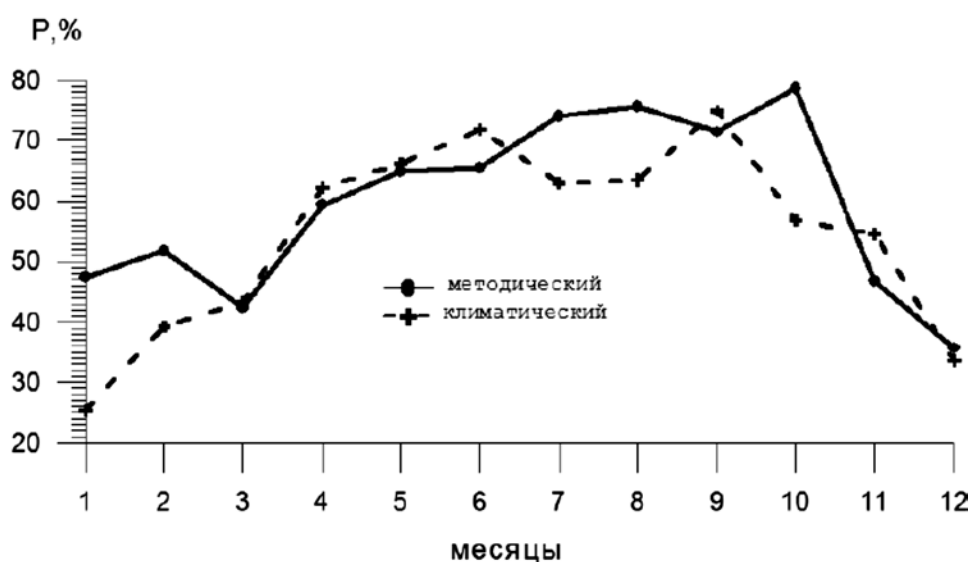


Рис. 1. Годовой ход средних за 2000-2010 гг. оценок (P) оперативных прогнозов средней месячной температуры воздуха по методу МРС и климатических прогнозов

2.4. Метод прогноза сезонной аномалии температуры воздуха по данным об облачности в Северной Атлантике

Разработан в Гидрометцентре России под руководством академика Мусаеляна в результате поиска возможностей параметризации облачности над океаном для гидродинамической модели длительных изменений в системе океан-атмосфера. Модель развивается школой академика Г.И. Марчука.

Одно из главных положений теории заключается в том, что *облачность является регулятором притока солнечного тепла к деятельному слою океана - главному аккумулятору энергии в системе подстилающая поверхность-атмосфера.*

В зависимости от аномалий облачности формируются соответствующие аномалии температуры воды в океане, которые затем влияют на возникновение аномалий атмосферной циркуляции и погоды. Возможность использования облачности в качестве предиктора, в физико-статистических схемах долгосрочного прогноза погоды, вытекает из результатов гидродинамического моделирования геофизических процессов.

Метод прогноза сезонной аномалии температуры воздуха на Европейской территории России (ЕТР) с заблаговременностью до полугода основан на исследовании асинхронных статистических связей между аномалиями общего количества облачности над умеренными широтами Атлантического океана и последующими аномалиями температуры на ЕТР.

Расчет и анализ асинхронных связей привел к выводу, что *на формирование полей аномалии температуры воздуха на ЕТР (ΔT_a) оказывают влияние только летние аномалии облачности над океаном (ΔS).*

Наибольшая отрицательная связь между T_a и S отмечается, если значения S берутся в июне-августе, а значения T_a - в последующих зимних месяцах, в декабре-феврале. Линейный коэффициент корреляции, оценивающий эту связь, достигает **-0,8**, а приток солнечной энергии максимален.

Уменьшенное, по отношению к норме, количество облачности над океаном приводит к положительным аномалиям его теплосодержания, а увеличенное количество облачности ведет к отрицательным аномалиям. В последующие месяцы, особенно зимой, океаническое тепло расходуется на прогрев атмосферы.

При пониженном теплосодержании океана воздух будет нагреваться меньше нормы, и возникнут отрицательные аномалии его температуры. Повышенное теплосодержание океана приведет, напротив, к положительным зимним аномалиям температуры воздуха.

Отрицательный знак связи между T_a и S , и существенное запаздывание реакции атмосферы на океанические аномалии облачности свидетельствуют о том, что обнаруженная связь действительно описывает процесс накопления и дальнейшего расхода тепла деятельным слоем океана.

Большие значения коэффициентов корреляции позволили разработать метод прогноза сезонной аномалии температуры воздуха на ЕТР в холодной части года (октябрь-апрель) с заблаговременностью от 2 до 4 месяцев. Знак сезонных аномалий температуры правильно предсказывается в **73%** случаев, однако в ряду лет, на которые составлялись прогнозы, наблюдались годы с высокой (**82%**) и низкой (**60%**) оправдываемостью прогнозов.

Облачность над океаном и его теплосодержание пусть важный, но не единственный фактор формирования зимнего фона погоды на континенте.

Физико-статистические методы следует признать одним из перспективных направлений исследований формирования длительных аномалий погоды и их прогноза. Эти методы дают возможность количественно оценить влияние самых разнообразных факторов на поведение атмосферы и получить физическую интерпретацию обнаруженных связей.

3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

3.1. История статистического подхода ДПП

На заре развития долгосрочных прогнозов, наряду с синоптическими (Б.П. Мультановский) и физико-статистическими (Э.Ф. Лесгафт) методами, появились и чисто статистические.

Воейков установил двухлетнюю цикличность чередования теплых и холодных зим на Европейской территории России. При этом, температурные аномалии зимы на северо-западе (Санкт-Петербург) и юго-востоке (Астрахань), как правило, противоположны по знаку.

Последующие исследования показали, что двухлетняя периодичность соблюдается лишь в **60%** случаев. Часто наблюдаются нарушения цикличности, когда за холодной зимой вновь следует холодная. От прогностического использования двухлетней цикличности (вернее, периодичности) на уровне простого статистического обобщения пришлось отказаться.

Это характерный факт для всех методов, использующих циклические процессы в атмосфере. Методы называются циклическими, так как период и амплитуда колебаний значительно меняются во времени.

Данное свойство временных рядов метеорологических величин называется статистической нестационарностью и затрудняет использование статистических методов в ДПП.

Тем не менее, такие методы разрабатываются, поскольку сама идея использования циклов, пусть и без физического анализа их происхождения, обладает большой привлекательностью

Тенденция к сохранению характера погоды существует исключительно при восточных ветрах и при высоком давлении. При западных ветрах и низком давлении скорее надо ожидать изменения погоды.

Кальтенбруннер исследовал зависимость осадков в Вене от предшествующего давления и ветра и получил очень малые числа (**0,06 – 0,29**), для восточных ветров и высокого давления, и очень большие числа (**до 0,85**) для западных ветров и низкого давления.

Из вышеизложенного ясна зависимость метеорологической инерции от процессов погоды. Тенденция к сохранению обнаруживается как в распределении давления на карте, так и в траекториях барических центров и изаллобарических областей. Кеппен вычислил по синоптическим картам 1872 – 1873 г. вероятность появления новой депрессии. Она оказалась:

Через:	<1 дня	1 день	2 – 3	4 – 6	7 – 10	11-24дней	,
	0,33	0,32	0,19	0,10	0,18	0,16	

Если через данный район прошла депрессия, то существует значительная (**0,32**) вероятность, что уже в следующий день или через день этот район попадет под влияние новой депрессии.

Вагнер подсчитал за 43 года (1881 – 1923) тенденцию к сохранению аномалий циркуляции над Северной Атлантикой. За

характеристику циркуляции бралась разность давлений между 30° и 65° с.ш. Средняя вероятность сохранения от месяца к месяцу равна **57%**. В зимние месяцы вероятность сохранения аномалий циркуляции в 3 раза больше, чем их смены. Летом и осенью вероятность близка к **50%**.

Различными исследователями было найдено множество многолетних периодов в ходе метеорологических элементов. *Gjbcr* многолетних периодов или ритмов производится преимущественно путем сглаживания рядов средних величин.

Рассмотрим лишь наиболее надежные и значительные из найденных многолетних циклов.

Кеппен в 1873 г. дал первое доказательство 11-летнего солнечного ритма в явлениях погоды, статистически обработав данные о средней годовой температуре за 1820 – 1871 гг. в 25 областях земного шара от тропиков до полярного круга.

а) Отчетливее всего связь температуры с солнечными пятнами оказалась в тропиках, причем в годы минимума пятен температура здесь на **0.6°** выше, чем в годы максимума пятен.

б) Коэффициенты корреляции между средней годовой температурой и числом солнечных пятен (за 1890 – 1930 гг.) оказываются в тропиках от **-0,3** до **-0,5**.

с) Для большей части Европы максимум температуры совпадает с максимумом солнечных пятен. Амплитуды 11-летнего колебания температуры в умеренных широтах незначительны (**0.1°** и меньше) и коэффициенты корреляции очень малы.

По Гельману, в течение одного периода солнечных пятен в Европе наблюдаются **2** максимума осадков, причем главный падает на минимум солнечных пятен. Амплитуда колебания годовых количеств осадков внутри периода солнечных пятен достигает 12%. (Межгодовые колебания осадков составляют до 30 – 40% нормы).

Циклы в 2 – 4 года найдены в колебаниях Северо-Атлантической системы. Мейнардус обнаружил цикл в $4^{1/2}$ года в ледовых условиях в районе Исландии, а Уокер – циклы в $4^{1/2}$ и 2 года в районе Ньюфаундленда.

Цикл в $3^{1/2}$ года обнаруживается в аномалиях меридионального градиента температуры в Северной части Атлантического океана и в колебаниях метеорологических элементов в Индийском океане.

3.2. Прогноз сезонной аномалии температуры воздуха по методу Багрова и Мякишевой (Гидрометцентр России)

➤ В качестве исходной информации (предиктора будущей температуры), были рассмотрены только сами температурные поля прошедших сезонов за 73 года. Никакие иные предикторы не привлекались.

➤ Для построения метода прогноза использовалось разложение полей температуры по эмпирическим ортогональным составляющим. Было установлено, что первые 14 собственных векторов (составляющих) описывают 91-96% суммарной дисперсии поля сезонной температуры воздуха.

➤ В прогностическую схему включались только первые 5 векторов, чтобы учесть лишь крупномасштабные элементы поля температуры.

1) Схема прогноза на один сезон представляет собой 20 уравнений множественной регрессии (для 20 станций станцию), связывающих будущую температуру с коэффициентами разложения исходного поля по эмпирическим ортогональным составляющим.

2) Прогноз может выпускаться для всех сезонов года с различной заблаговременностью - 0, 1, 2 и 3 сезона. Каждому сезону и каждой заблаговременности соответствуют свои, собственные вектора исходного поля температуры и свои уравнения регрессии.

3) Анализ оценки качества прогнозов показал, что приемлемые результаты получаются для сезонов теплой половины года, с заблаговременностью от 0 до 1 сезона. С увеличением заблаговременности, влияние исходного поля температуры на последующие сезоны резко падает, и прогнозы становятся неудовлетворительными.

Чисто статистические методы при значительном различии способов построения прогностических схем обнаруживают одни общие черты:

- I. Для прогноза метеорологического элемента используются закономерности временной динамики самого элемента.
- II. К закономерности относятся экстраполяция гармоник циклических колебаний, либо автокорреляция поля температуры со сдвигом во времени, то есть использование свойства инерционности метеорологических полей.

III. Причины возникновения цикличности и инерционности принципиально не рассматриваются, а внешние, по отношению к атмосфере, факторы не привлекаются.

Последнее обстоятельство можно считать определенным преимуществом чисто статистических методов, так как нет необходимости в построении сложной физической модели процесса, поиске и оценке влияющих факторов.

Применяя статистические методы, следует помнить, что с их помощью можно составлять прогнозы на один, максимум - на два шага по времени вперед.

Причина заключается в *нестационарности* и относительно *малой инерционности* временных рядов метеорологических элементов.

Некоторые статистические прогностические системы ДПП показывают примерно такое же качество прогноза, как и гидродинамические системы. Для улучшения статистических моделей – необходимо увеличить объем наблюдений.

4. ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДПП

Традиционные прогнозы погоды выпускаются, как правило, в категорической форме. Потребитель не получает никаких указаний о степени уверенности в осуществлении прогноза.

Если вероятность осуществления прогностических значений близка к климатической, то информация категорических прогнозов становится недостаточной.

Для искушенного потребителя прогнозов, наибольшую информативную ценность представляют прогнозы погоды в вероятностной форме.

Неопределенность прогнозов может быть связана как с неполнотой наших знаний о законах эволюции атмосферных процессов, с ошибками измерений метеорологических элементов, так и независимостью развития метеорологических процессов от их начального состояния.

Методы математической статистики позволяют выпускать прогноз в вероятностной форме.

➤ Непосредственное использование климатического распределения прогнозируемой переменной. Метод климатического, вероятностного прогноза обычно используется в качестве

стандартной методики, относительно которой оценивается мастерство испытываемых методов вероятностного прогнозирования.

➤ Метод априорных вероятностей, который предполагает получение распределения вероятностей осуществления прогнозов на архивном материале.

➤ Формулировка прогноза в форме доверительных интервалов является наиболее простым способом вероятностной интерпретации значений функции регрессии. В случае фазового прогноза, когда предиктант представлен дискретной величиной, простой и эффективной процедурой анализа оказывается регрессионная оценка вероятностей событий (REEP).

Объективные прогностические процедуры изначально предполагают наличие некоторых субъективных предположений сделанных в процессе их разработки. Роль прогнозиста в процессе создания долгосрочного прогноза погоды очень велика. Прогнозист вносит множество субъективных интерпретаций в объективную прогностическую информацию.

Независимо от того, каким методом разрабатывается прогноз – численным гидродинамическим, синоптическим или статистическим, в него включены субъективные допуски прогнозиста. Прогноз, основанный на анализе неполной и часто противоречивой информации, называется субъективным прогнозом.

Создание полностью объективных прогнозов в настоящее время невозможно вследствие неопределенности будущего состояния атмосферы. Поэтому необходимо указывать вероятность выпускаемых прогнозов в терминах, которые поясняют степень доверия к нему прогнозиста.

При разработке прогноза прогнозист мысленно строит распределение вероятностей, даже если, сам прогноз формально не является вероятностным. Например, при разработке прогноза осадков, который дается в двух категориях – «есть осадки» и «без осадков» существует дискретное распределение вероятности этих двух событий. Это распределение содержит всего два элемента с одинаковой вероятностью осуществления. Задача прогнозиста выразить свою степень доверия одному из этих событий, то есть присвоить одному из событий вероятность осуществления равную 100 процентам, а другому событию вероятность 0 процентов.

Одним из способов введения вероятностной информации в прогноз непрерывных метеорологических параметров является

применение в прогнозе доверительных интервалов. В этих прогнозах прогнозист указывает границы прогностического интервала метеорологического параметра и вероятность осуществления прогноза в этом интервале в соответствии с субъективным распределением вероятностей.

Уровень неопределенности может быть снижен с помощью экспертных оценок группы специалистов, которые затем согласовываются между собой различными, качественными и количественными методами.

Список рекомендуемой литературы

1. Абубакиров Н.Р. Элементы линейной алгебры / Н.Р. Абубакиров, В.А. Халямина. – Казань: Казанский госуд. ун-т, 2004. – 52 с.
2. Багров Н.А. Долгосрочные метеорологические прогнозы / Н.А. Багров, К.В. Кондратович, Д.А. Педь, А.И. Угрюмов. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 248 с.
3. Пановский Г.А. Статистические методы в метеорологии / Г.А. Пановский, Г.В. Брайер. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 209 с.
4. Гмурман В.Е. Введение в теорию вероятностей и математическую статистику. – М.: Высшая школа, 1966. – 379 с.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.А. Вероятностные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 271 с.