

# СЕЗОННЫЕ ПРОГНОЗЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПЛ-АВ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЕЖЕСУТОЧНЫХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ РЯДОВ ДАННЫХ

Киктёв Д.Б.

Гидрометцентр России

## Введение

Практические потребности в продукции долгосрочных и, в частности, сезонных метеорологических прогнозов сегодня значительно опережают возможности должным образом их удовлетворить как по спектру предлагаемых прогностических продуктов, так и по уровню успешности. Степень детализации сезонных прогнозов, обычно представляемых в терминах вероятностей трех категорий (градаций) средних за период прогноза аномалий («выше/ниже/около нормы»), не устраивает многих потребителей. Но даже и при такой форме представления выходной продукции успешность сезонных прогнозов, выпускаемых ведущими прогностическими центрами мира, является крайне скромной. В то же время значительная часть вопросов потребителей связана с долгосрочными прогнозами различного рода экстремальных погодно-климатических явлений, которые являются серьезной угрозой для населения и экономики.

Наполнение понятия «экстремальное гидрометеорологическое явление» зависит от пространственно-временных масштабов рассматриваемых геофизических процессов. В современных системах долгосрочного метеорологического прогноза объектом прогнозирования обычно являются средние за период (месяц, сезон) аномалии метеорологических полей и вероятности различных категорий аномалий. При достаточно большом количестве категорий аномалий крайние из них можно трактовать как «экстремальные». Средние месячные или сезонные аномалии дают весьма огрубленное представление об особенностях периода прогноза. Так, несложно представить, что, например, нейтральный с точки зрения средних за период прогноза аномалий сезон может быть результатом взаимной компенсации экстремальных волн тепла/холода и более умеренных эпизодов с температурными аномалиями противоположного знака.

Помимо экстремумов как крайних категорий средних за период прогноза аномалий возможно также рассмотрение экстремумов другого рода – экстремумов на фоне внутрисезонной/внутримесячной изменчивости. В предположении справедливости концепции о предсказуемости второго рода, обусловленной влиянием медленных внешних воздействий на атмосферу, можно ожидать проявления этих воздействий и на статистику экстремальных явлений внутри периода долгосрочного прогноза за пределами интервала детерминированной предсказуемости индивидуальных синоптических структур. Например, внутрисезонное количество превышений определенного порогового уровня значениями метеорологического параметра, продолжительность периодов такого превышения, число накопленных градусо-дней, интенсивность волн тепла/холода, индексы засушливости, количество блокирующих ситуаций, процентиля «хвостов» распределений и другие статистики от рядов ежесуточных прогностических данных также могут интерпретироваться как характеристики (индексы) экстремальности гидрометеорологических процессов.

## Прогностический индекс экстремальности

Прогностический индекс экстремальности *EFI* (Extreme Forecast Index) был предложен в (Lalauette, 2002; Lalauette, 2003) для задач кратко- и среднесрочного прогноза. Расчет *EFI* является одной из форм вероятностной интерпретации ансамблевых прогнозов.

Индекс *EFI* определяется следующим образом. Имея модельный климатический ряд данных для некоего метеорологического параметра в произвольной точке земного шара, можно каждой доле  $p$  ранжированной последовательности этих данных поставить в соответствие значение метеорологического параметра  $q_c(p)$ . Пороговое значение  $q_c(p)$

называют квантилью или процентилем климатического распределения. Значения  $q_c(0)$  и  $q_c(1)$  являются, соответственно, зафиксированными минимумом и максимумом в модельной климатической серии данных, а  $q_c(0.5)$  - медианой. Если  $F_f(p)$  – прогностическая вероятность того, что будущее значение метеорологического параметра окажется меньше  $q_c(p)$  (см. рис.1), то прогностический индекс экстремальности можно определить в виде:

$$EFI_{2m+1} = 2(m+1) \int_0^1 (p - F_f(p))^{2m+1} dp \quad (m=1,2,\dots).$$

Индекс  $EFI$  принимает значения от -1 (все члены прогностического ансамбля прогнозируют значения ниже климатического минимума:  $F_f(p)=1$  для всех процентилей) до +1 (все члены прогностического ансамбля прогнозируют значения выше климатического максимума:  $F_f(p)=0$  для всех процентилей).

Хотя  $EFI$  оказывается положительным для четных индексов, он может быть трансформирован в индекс, меняющий знак в зависимости от взаимного расположения климатического и прогностического вероятностных распределений:

$$EFI_{2m} = (2m+1) \frac{EFI_1}{|EFI_1|} \int_0^1 (p - F_f(p))^{2m} dp.$$

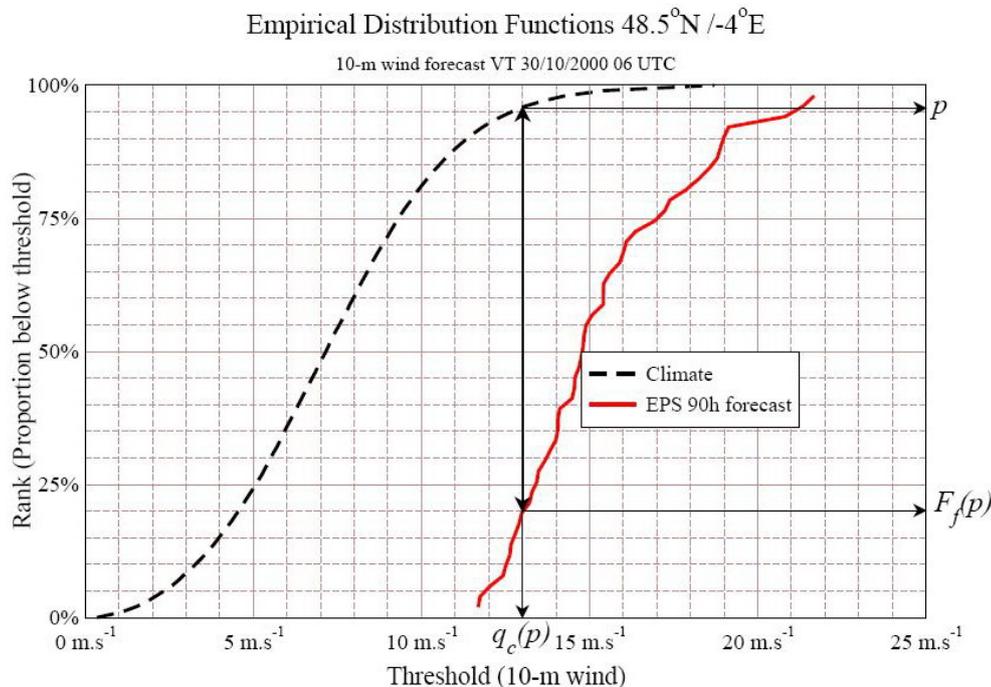


Рис.1. Прогностическое (сплошная линия) и модельное климатическое (пунктирная кривая) вероятностные распределения для приземной скорости ветра в районе Бреста, Франция 30 октября 2000 г. (в период знаменитого «Halloween storm»).

Таким образом, индекс  $EFI$  представляет накопленную аккумулярованную разность между модельным климатическим и конкретным прогностическим вероятностными распределениями. Использование двух этих модельных распределений позволяет оценить степень необычности конкретной прогнозируемой ситуации в контексте модельного климата и учесть систематические ошибки прогностической модели.

В настоящее время прогностические карты  $EFI$  на срок до 5 суток выпускаются Европейским центром среднесрочных прогнозов на регулярной основе. Информация  $EFI$  пользуется спросом благодаря тому, что не требует привязки к каким-то пороговым значениям и пригодна для анализа различных метеорологических параметров (ветер, осадки, температура) круглый год в глобальных масштабах.

### Индекс экстремальности для долгосрочных прогнозов

Оригинальная формулировка *EFI* ориентирована на задачи оценки возможности возникновения экстремальных явлений в конкретный момент времени в конкретной точке. За пределами интервала детерминированной предсказуемости индекс *EFI* в его оригинальной постановке (Lalauette, 2002; Lalauette, 2003) использоваться не может.

Представляется интересным распространить положенные в основу расчета *EFI* идеи на задачи долгосрочного прогноза. Например, сезонного. Объектами анализа при этом будут не мгновенные значения той или иной прогностической переменной, а полученные в процессе интегрирования модели по времени ряды данных внутри периода прогноза и/или рассчитанные на их основе статистики. В обобщенном виде можно представить формулировку индекса *EFI* в виде

$$EFI = \int_0^1 D(p, F_f(p)) dp,$$

где  $D(..)$  – выбранная характеристика различия между модельным климатическим  $p$  и текущим прогностическим  $F_f(p)$  интегральными вероятностными распределениями. Существенно, что характеристика  $D$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения:

$$D(a,b) = -D(b,a).$$

Какое содержание может вкладываться в распределения  $p$  и  $F_f(p)$  для сезонного прогноза? Как один из простейших вариантов это могут климатическое и соответствующее прогностическое вероятностные распределения ежесуточных значений метеорологического параметра внутри сезона. В процедуру построения прогностического распределения при этом вводится учет всей совокупности ежесуточных значений метеорологического параметра в течение периода прогноза для всех членов прогностического ансамбля. Для построения модельного климатического распределения помимо этого добавляется обобщение по всему периоду ретроспективных прогнозов. Таким образом, по сравнению с традиционной формулировкой *EFI* для кратко- и среднесрочных прогнозов в процедуру расчета индекса для долгосрочных прогнозов включается учет дополнительного временного измерения. Для исключения влияния на значения *EFI* годового хода для исходных рядов ежесуточных прогностических значений на сезонном временном интервале может быть проведена предварительная стандартизация – преобразование в ряды нормированных ежесуточных отклонений (аномалий) от ежесуточного модельного климата. Долгосрочные метеорологические прогнозы традиционно формулируются в терминах аномалий, поэтому трансформация исходных значений метеорологических параметров в аномалии представляется в данном случае достаточно естественной.

Помимо интегральных функций распределения тех или иных физических переменных в качестве  $p$  и  $F_f(p)$  могут выступать вероятностные распределения различных производных от исходных модельных рядов выборочных статистик (индексов), представляющих, например, интенсивность волн холода/тепла, активность процессов блокирования или тропического циклогенеза, засушливость и т.д. Другими словами, в парадигму *EFI* может быть включен широкий спектр статистик, фокусирующихся на конкретных типах экстремальных с климатической точки зрения или с точки зрения конечного пользователя явлений. Т.к. по каждой модельной реализации рассчитывается только одно значение производного индекса (например, дата начала муссона), то построение вероятностных распределений этих индексов предполагает наличие достаточно представительных прогностических ансамблей. Объем выборочной статистики также может быть увеличен за счет различных техник «размножения выборок» (например, бутстрепа), применяемых к прогностическим реализациям.

#### **Результаты и выводы**

На примере полей приземной температуры по данным ретроспективных прогнозов получены первые предварительные оценки информативности сезонных прогнозов экстремальных метеорологических условий на основе обобщенного индекса экстремальности. Априорно трудно было ожидать, что при общем низком уровне успешности сезонных прогнозов (даже для среднесезонных аномалий) успешность прогнозов экстремальных характеристик внутри-сезонной изменчивости будет более высокой. В этом отношении полученные оценки «оправдали ожидания» – общий уровень успешности прогнозов индекса экстремальности оказался низким.

Можно предположить, что на сезонных временных масштабах производные прогностические индексы экстремальности для различных метеорологических характеристик могут существенно отличаться по степени предсказуемости. Для идентификации экстремальных гидрометеорологических характеристик/явлений, предсказуемых на временных масштабах от месяца до сезона, необходимы дальнейшие исследования.

#### **Благодарности**

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований – грант № 09-05-00630.

#### **Литература:**

Lalurette, F., 2003: Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index, Q. J. Roy. Meteor. Soc. 129(594), 3037-3057.

Lalurette, F., 2002: Early Detection of Abnormal Weather Using a Probabilistic Extreme Forecast Index, - ECMWF Technical Memorandum № 373, 27 pp.