

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗОВ ОСАДКОВ ПО МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ

В.З. Кисельникова

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
vkisel@mecom.ru*

Введение

В последние годы в мировой практике для оценки качества прогностических полей с высокой пространственно-временной изменчивостью, таких как, например, осадков, используются новые методики оценки. Обзор таких методик приведен в [8]. Одна из них называется объектно-ориентированной оценкой [3, 5–7] и заключается в выделении и сопоставлении объектов в двух скалярных полях и расчете их статистик.

В методике объектно-ориентированной оценки можно выделить 2 этапа. На первом этапе оценки в прогностических и наблюдаемых полях выделяются (с помощью сглаживания и порогового отсека) объекты простой структуры. Сглаживание здесь сводится к замене значения осадков в точке сетки на среднее значение по точкам круга заданного радиуса.

Пороговое отсечение задается для выделения зон осадков, важных для синоптика или пользователя прогноза. В точках сетки, где осадки превышают выбранный порог, ставятся единицы, а остальные заполняются нулями. Так формируются поля масок.

На втором этапе оценки определяются характерные свойства прогностических и наблюдаемых полей: размер, площадь объектов, удельная интенсивность осадков (сумма осадков с заданной интенсивностью, деленная на общее число точек с такой интенсивностью), координаты центра тяжести (ЦТ) объекта.

Используемые данные и организация расчетов

Методика объектно-ориентированной оценки была использована для оценки качества прогнозов зон накопленных за 12 часов осадков количеством $P \geq 5$ мм по негидростатической мезомасштабной модели Гидрометцентра России [4]. Оценка проведена за 17 дней лета 2012 г. и 11 дней мая-июня 2013 г. по территории Московского региона, когда наблюдались умеренные и значительные дожди. Интегрирование модели проводилось по начальному сроку 0 ч ВСВ на 48 ч с шагом по времени 240 с на сетке 30×30 узлов с разрешением по горизонтали 10 км, центр области прогноза – станция ВВЦ (Москва).

Прогностические поля сумм осадков за временные интервалы 6–18 ч, 18-30 ч, 30-42 ч сопоставлялись как с полями осадков, рассчитанными по радиолокационным данным, так и с полями, полученными интерполяцией на сетку модели данных 12-часовых измерений осадков на синоптических станциях.

При построении стационарного поля суммы осадков на прогностической сетке по данным за 06 и 18 ч ВСВ использовался интерполяционный алгоритм, основанный на построении локальных сплайнов. Привлекались станции в радиусе 250 км от Москвы. В 2012 г. количество станций составляло 74, в 2013г. – 84. Расстояние между станциями меняется от 40 до 70 км.

Оперативно поступавшие ежечасные данные радиоэхо локаторов комплекса АКСОПРИ (Московское кольцо) [1] на сетке 100×100 точек с шагом 4 км интерполировались на сетку численной модели (с шагом 10 км) и пересчитывались в накопленные осадки. Прямые измерения накопленных осадков производятся только на редкой сети синоптических станций, тогда как расчетные осадки (на сетке модели 30×30) по данным локатора можно принимать за «идеал» с известной степенью предосторожности, поскольку точно неизвестна величина ошибки принятой методики расчета этих осадков.

Поэтому производилось сопоставление со стационарным полем осадков не только модельных осадков, но и рассчитанного радиолокационного поля осадков.

Процедура пересчета данных радиоэхо в поле накопленных осадков

Радиоэхо пересчитывается в отражаемость Z по формуле:

$$Z = 10^{0,1Z^m}, \quad (1)$$

где Z измеряется в $\text{мм}^6/\text{м}^3$, Z^m - радиоэхо в dBz, осадками при значении радиоэхо ≤ 0 пренебрегаем.

Отражаемость переводится в водность осадков по формулам из модели WRF-ARW с параметризацией Томпсона [2].

При температуре более 0 °С массовая доля капельных осадков Q_{dr} определяется по формуле:

$$Q_{dr} = (Z / 3,6308 \cdot 10^9)^{4/7}. \quad (2)$$

При температуре менее -50 °С массовая доля кристаллических осадков Q_{sn} определяется по формуле:

$$Q_{sn} = (Z / 0,2185 \cdot 10^9)^{4/7}. \quad (3)$$

При промежуточной температуре (от 0° до -50 °С) массовая доля осадков состоит из двух частей (в долях, определяемых формулой И.П. Мазина для доли капельных и кристаллических частиц облака): доли граупелей D и доли кристаллов $1-D$. D определяется итерациями из соотношения:

$$Z = (D \cdot Q_{gr})^{1,75} \cdot 1,03 \cdot 10^9 + (1-D) \cdot Q_{sn}^{1,75} \cdot 0,21859 \cdot 10^9. \quad (4)$$

Скорость падения капельных осадков V_{dr} и радиус эквивалентной сферы R находятся из соотношений:

$$V_{dr} = 12,11 \cdot Q_{dr}^{0,125} \cdot \sqrt{\frac{\rho(z)}{\rho(0)}}, \quad (5)$$

$$R = 0,5 \cdot (V_{dr} / 842)^{1/0,8}, \quad (6)$$

где $\rho(z)$ и $\rho(0)$ – плотность воздуха.

Скорость падения кристаллических осадков V_{sn} и радиус эквивалентной сферы R находятся из соотношений:

$$V_{sn} = 12,11 \cdot 0,28 \cdot Q_{sn}^{0,125} \cdot \sqrt{\frac{\rho(z)}{\rho(0)}}, \quad (7)$$

$$R = 0,5 \cdot (V_{sn} / 12,5)^{1/0,62}. \quad (8)$$

Скорость падения граупелей и радиус эквивалентной сферы находятся из соотношений:

$$V_{gr} = 12,11 \cdot 0,61 \cdot Q_{gr}^{0,125} \cdot \sqrt{\frac{\rho(z)}{\rho(0)}}, \quad (9)$$

$$R = 0,5 \cdot (V_{gr} / 156)^{1/0,86}. \quad (10)$$

Скорость падения и радиус указанных частиц полагают постоянными в процессе их падения для данного (ежечасного) срока получения сигнала локатора.

Принимается, что при прохождении кристаллических (капельных) частиц через слои атмосферы с положительной (отрицательной) по Цельсию температурой они концентрически покрываются жидкой (кристаллической) пленкой, которая может заполнить всю частицу. Расчет толщины пленки предполагает осуществление двух последовательных процессов:

а) распространение границы между внешней капельной (кристаллической) и центральной кристаллической (капельной) частями в соответствии со скоростью распространения скачка энтропии;

б) изменение температуры центра частицы в соответствии с решением уравнения теплопроводности для центральной кристаллической (капельной) части при ненулевой по Цельсию температуре на ее сферической границе.

У поверхности Земли капельная и кристаллическая части осадков суммируются. Вся процедура повторяется для каждого (ежечасного) срока наблюдений.

Результаты объектно-ориентированной оценки осадков

При реализации методики объектно-ориентированной оценки входные прогностические и наблюдаемые поля переменной сглаживаются по 25 точкам сетки и пороге отсечения $P \geq 5 \text{ мм}/12\text{ч}$ переводятся в поля масок с явным выделением объектов.

Для каждого объекта в модельном и фактическом полях масок вычислялись соответствующие площади, эквивалентные количеству точек объекта. Объекты с площадью менее 26 точек исключались из анализа, как это делалось в [3, 5, 6].

Оценка совпадения прогностических объектов с наблюдаемыми проводилась по одной характеристике – расстоянию d между центрами тяжести в 4 классах: $d \leq 50 \text{ км}$, $d \leq 100 \text{ км}$, $d \leq (A_f^{1/2} + A_o^{1/2})/2$, $d \leq A_f^{1/2} + A_o^{1/2}$, где A_f и A_o площади прогностического и наблюдаемого объектов соответственно. Если расстояние между центрами тяжести прогностического и фактического объектов соответствовало этим значениям, то прогноз считался оправдавшимся. В противном случае прогноз являлся неоправдавшимся и относился либо к категории «пропуск цели», когда радиолокационные или стационарные измерения дали объект, а в прогнозе на расстоянии, равном или меньшим d от него, объекта не было, либо к категории «ложная тревога», когда объект прогнозировался, а совпадающего фактического объекта не было.

Для каждого критерия определялись число совпадающих объектов NH , среднее расстояние между ними - d_{mean} , отношение площадей совпадающих объектов в модельных и наблюдаемых полях – da , средние разности максимальных значений осадков P мм/12ч по модели и по фактическим измерениям. Эти характеристики приведены в табл. 1–3. Приводятся также число пропусков прогностических объектов NM и число объектов «ложной тревоги» NF . Представлены оценки CSI – индекса критического успеха, определяющего относительную частоту оправдавшихся прогнозов и равного $CSI = NH / (NH + NM + NF)$, доли пропусков прогнозов $PM = NM / (NH + NM + NF)$ и доли ложных тревог $PF = NF / (NH + NM + NF)$.

Результаты оценок при сопоставлении модельных накопленных полей осадков с радиолокационными полями приведены в табл. 1; со стационарными полями, полученными

по данным наблюдений на станциях – в табл. 2. Результаты сопоставления радиолокационных полей со стационарными полями приведены в табл. 3 .

В работах [2, 3, 5, 6] отмечено, что обычно модели завышают площадь и интенсивность осадков. Как видно из табл. 1 и 2, параметр da – отношение суммы площадей выделенных прогностических объектов к сумме площадей «наблюдавшихся» объектов – больше 1, что дает основание говорить об некоторой переоценке моделью площади осадков. Более значительна ошибка прогноза количества осадков. Средние разности ($P_{mod} - P_{rad}$) максимальных значений сумм осадков в ЦТ между модельным полем и радиолокационным составляет 5,0–5,4 мм/12ч , а между модельным и стационарным полем – 2,9-4,4 мм/12ч. Эта же разность между радиолокационными суммами осадков и наблюдаемыми на станциях порядка -3мм/12ч (табл. 3). Отрицательная смещенность радиолокационных сумм осадков относительно стационарных измерений совпадает с результатом [1]. Таким образом, можно сделать вывод, что прогноз количества осадков завышен в рассмотренном периоде оценки. Оценивая правильность прогнозирования количества осадков, вероятно, следует отметить, что как радиолокационные измерения, так и анализ осадков по данным наблюдений на редкой сети станций не являются идеальными средствами оценки количества осадков.

Анализ индекса критического успеха (CSI), определяющего долю оправдавшихся прогнозов, подтверждает результат работы [3], что наиболее жестким критерием оценки является $d \leq 50$ км, когда $CSI=0,13$. При $d \leq 100$ км $CSI=0,33$, при последних двух критериях CSI составляет 0,40–0,62, что практически совпадает с оценками качества прогноза ежечасных летних сильных осадков над территорией США по модели WRF [5, 6]. Отметим, что доля ложных тревог PF (табл. 1 и 2) составляет 0,47–0,55, что косвенно свидетельствует о том, что модель имеет тенденцию завышать осадки.

Заключение

Объектно-ориентированная оценка качества прогнозов накопленных осадков в Московском регионе летом 2012–2013 гг. в дни выпадения осадков с количеством 5 мм/12ч и более по мезомасштабной модели ФГБУ «Гидрометцентр России» показала, что модель переоценивает как площадь осадков, так и их количество для выделенного периода оценки. В 13–14 % случаев центры тяжести прогнозируемых и наблюдаемых объектов находились на расстоянии менее 50 км, а в 33 % – на расстоянии менее 100 км. Эти результаты близки к объектно-ориентированным оценкам значительных летних осадков над центральными районами России по модели WRF [3]. При расстояниях, меньших корня квадратного из суммы площадей прогнозируемого и наблюдаемого объектов, доля оправдавшихся прогнозов составляла 0,54–0,62, что практически совпадает с результатами оценок по этому

критерию в [5, 6]. Следует заметить, чтобы получить более объективные оценки прогноза осадков в летнее время, необходимо провести оперативные испытания прогнозов осадков с применением данной методики оценки за весь летний период, а не только за дни с указанным количеством осадков. Кроме того, необходимо оценить прогнозы значительных (количеством 15 мм/12ч и более) осадков, т.к. их прогноз важен для практики.

Таблица 1

Результаты объектно-ориентированной оценки качества прогнозов накопленных за 12 ч осадков, количеством $P \geq 5,0$ мм, по мезомасштабной модели ФГБУ «Гидрометцентр России» (сравнение с осадками по радиолокационным данным)

Расстояние между ЦТ	NH	d_{mean} км	da	$P_{mod} - P_{rad}$, мм/12h	NM	NF	CSI	PM	PF
$D \leq 50$ км	11	28	1,6	5,0	27	47	0,13	0,32	0,55
$D \leq 100$ км	25	60	1,2	5,4	14	36	0,33	0,19	0,48
$D \leq 0,5 * S$ км	33	75	1,1	5,2	9	25	0,50	0,12	0,38
$D \leq *S$ км	36	81	1,0	5,2	9	23	0,54	0,13	0,33

Таблица 2

Результаты объектно-ориентированной оценки качества прогнозов накопленных за 12 ч осадков, количеством $P \geq 5,0$ мм, по мезомасштабной модели ФГБУ «Гидрометцентр России» (сравнение с осадками, измеренными на станциях метеорологических наблюдений)

Расстояние между ЦТ	NH	d_{mean} км	da	$P_{mod} - P_{rad}$, мм/12h	NM	NF	CSI	PM	PF
$D \leq 50$ км	14	33	1,6	4,6	40	48	0,14	0,39	0,47
$D \leq 100$ км	28	54	1,3	2,9	26	34	0,33	0,29	0,38
$D \leq 0,5 * S$ км	34	67	1,3	2,5	22	33	0,40	0,24	0,36
$D \leq *S$ км	48	90	1,3	3,1	11	19	0,62	0,14	0,24

Таблица 3

Сравнение осадков, рассчитанных по радиолокационным данным, с осадками, измеренными на станциях метеорологических наблюдений

Расстояние между ЦТ	NH	d_{mean} км	da	$P_{mod} - P_{rad}$, мм/12h	NM	NF	CSI	PM	PF
$D \leq 50$ км	17	30	0,8	-2,7	35	21	0,24	0,49	0,28
$D \leq 100$ км	29	51	0,9	-3,0	24	9	0,49	0,37	0,14
$D \leq 0,5 * S$ км	34	61	1,0	-2,9	21	6	0,58	0,33	0,09
$D \leq *S$ км	37	69	1,0	-2,8	17	4	0,65	0,28	0,07

Список использованных источников

1. *Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д., Павлюков Ю.Б.* Краткосрочный прогноз сильных осадков и ветра с помощью разрешающих конвекцию моделей WRF // *Метеорология и гидрология.* – 2011. – № 1. – С. 5–18.
2. *Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д.* Численные прогнозы погоды по негидростатическим моделям общего пользования WRF-ARW и WRF-NMM // *80 лет Гидрометцентру России.* – М.: Триада, лтд, 2010. – С. 94-133
3. *Кисельникова В.З.* Объектно-ориентированная оценка качества прогноза осадков WRF // *Метеорология и гидрология.* – 2013. – № 4. – С. 5–10.
4. *Прессман Д.Я., Пекелис Е.М., Кисельникова В.З.* Негидростатическая модель локального прогноза погоды Гидрометцентра России // *80 лет Гидрометцентру России.* – М.: Триада, лтд, 2010. – С. 59–81.
5. *Davis C.A. et al.* Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methodology and application mesoscale rain areas // *Mon. Wea. Rev.* – 2006. – Vol. 134, N 7. – P. 1772–1784.
6. *Davis C.A. et al.* Object-based verification of precipitation forecasts. Part II: Application to convective rain systems// *Mon. Wea. Rev.* – 2006. – Vol. 134, N 7. – P. 1785–1795.
7. *Davis C.A. et al.* The method for object-based diagnostic evaluation (MODE) applied to numerical forecasts from the 2005 NSSL/SPC spring program // *Mon. Forecasting.* – 2009. – Vol. 24, N 5. – P. 1252–1267.
8. *Gilleland E.T. et al.* Intercomparison of spatial forecast verification methods // *Mon. Forecasting.* – 2009. – Vol. 24, N 5. – P. 3019–3033.

Поступила в редакцию 25.04.2014 г.