

УДК 551.515.4, PACS number 92.60Aa:

ПРОГНОЗ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ В ГИДРОМЕТЕОЦЕНТРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

М. И. Прохареня, инженер-программист

ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Республика Беларусь, maryprokharenya@gmail.com

Приводятся способы прогноза конвективных процессов с использованием выходной продукции численных моделей с различным пространственным разрешением. Представлены способы прогноза конвективных явлений, использующиеся в Гидромете Республики Беларусь. Анализируется состояние атмосферы при интенсивной конвекции над территорией Республики Беларусь 13 июля 2016 г. Дается оценка методов прогноза гроз Решетова Г. Д. и Славина И. А. Рассмотрен прогноз конвективных явлений с помощью численной модели WRF-ARW. Результаты выполненной работы показали, что для прогноза конвективных явлений требуется использование моделей с высоким пространственным разрешением.

Ключевые слова: индексы неустойчивости, метод Решетова Г. Д., метод Славина И. А., категориальная оценка, Республика Беларусь.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач метеорологии является выявление опасных явлений погоды, связанных с зонами активной конвекции (ливней, града, шквалов), исследование их повторяемости, условий возникновения и прогнозирования. Актуальность решения этой задачи подтверждают фактические данные об ущербе, причиняемом отраслям экономики: опасные явления нарушают бесперебойную работу большинства отраслей хозяйственной деятельности, влияют на безопасность полетов самолетов, нарушают работу линий электропередач и связи, вызывают интенсивные радиопомехи, лесные пожары.

Вследствие этого большой интерес представляет прогноз опасных явлений на основе численных моделей атмосферы. В Гидромете Республики Беларусь проводятся работы по увеличению оправдываемости прогноза, в том числе и прогноза экстремальных явлений. Согласно мировой тенденции для прогноза опасных конвективных явлений используются индексы конвективной неустойчивости. Было выявлено несколько популярных индексов неустойчивости, наиболее подходящих для территории Республики Беларусь [1]. Кроме того, в летний период в Гидромете проводится расчет вероятности возникновения грозы с использованием методов Решетова Г. Д. и Славина И. А.

В данной статье приведены результаты исследования конвективных процессов, происшедших над территорией Республики Беларусь 13 июля 2016 г. Для анализа были использованы данные дистанционного зондирования атмосферы, метеорологические и радиолокационные

наблюдения. Рассмотрены индексы неустойчивости атмосферы, полученные на основе выходных данных численных моделей с различным пространственным разрешением. Проведен анализ оправдываемости прогноза гроз по методам Решетова Г. Д. и Славина И. А. Особое внимание уделено возможностям прогноза конвективных явлений с помощью мезомасштабной модели WRF-ARW (Weather Research and Forecasting).

2. СИНОПТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

Над территорией Европы 13 июля 2016 г. наблюдались погодные условия, вызванные циклоном с центром над Кольским полуостровом. В ложбине этого циклона, над территорией Республики Беларусь, отмечалось прохождение волнового циклона, который был вызван большим температурным контрастом воздушных масс (см. Рис. 1). На поверхности 850 гПа разность температур доходила до 8 °С на 500 км.

Неустойчивое состояние атмосферы и сходимость потоков вблизи вершины волны на теплом участке волнового возмущения способствовали образованию конвекции. Интенсивная конвекция и связанное с ней формирование отдельных конвективных штормов начались к западу от Минска около 5 часов UTC (см. Рис. 2).

На большей территории прошли грозовые дожди, преимущественно по северо-западной половине страны отмечались сильные ливни, в отдельных районах при грозах наблюдалось шквалистое усиление ветра порывами до 15-21 м/с, местами выпадал град. Наибольшее количество осадков выпало на метеостанциях Новогрудок – 43 мм (47 % месячной нормы),

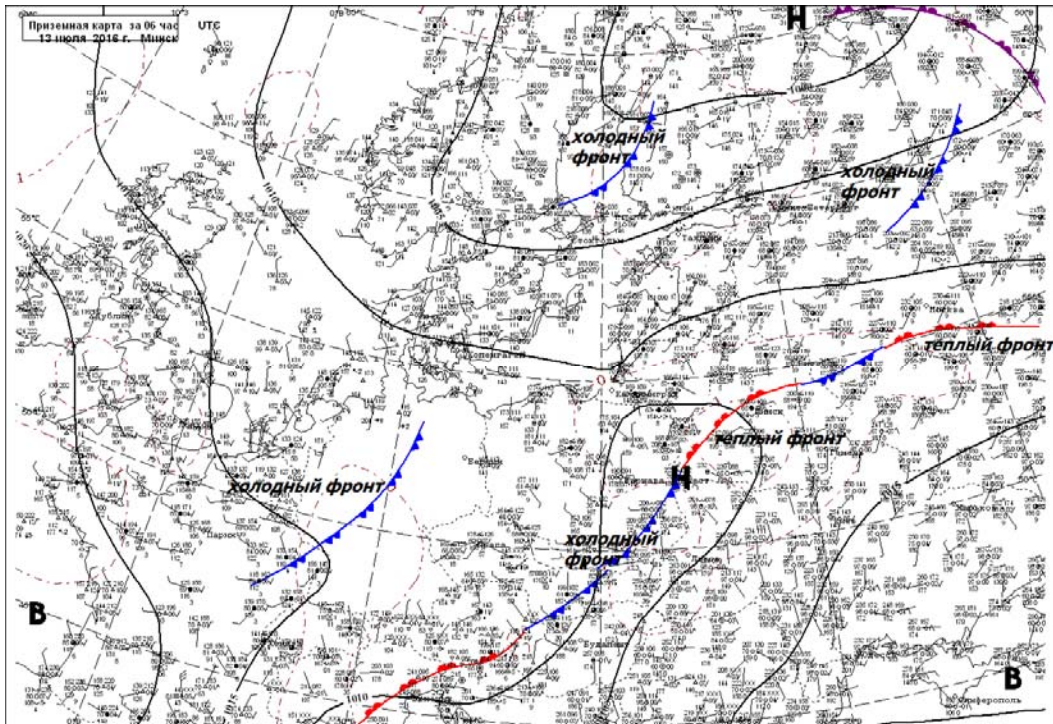


Рис. 1 – Приземная карта от 13.07.2016г. 06 UTC

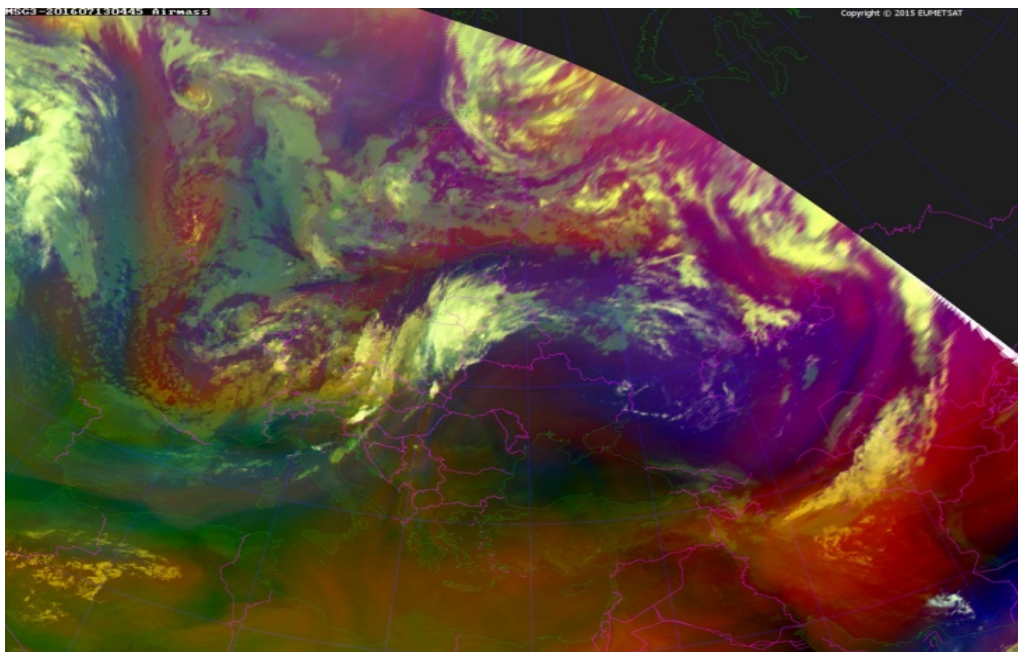


Рис. 2 – Снимок спутника Eumetsat от 13.07.2016г. 04.45 UTC

Лида – 39 мм (50 %). С данным штормом были связаны опасные явления над регионом: отмечались грозы, шквалы, местами вызывавшие повреждения инфраструктуры, в т. ч. в аэропорту Минск-2. Ночью местами прошли кратковременные дожди различной интенсивности, отмечались грозы. В утренние часы по северо-западу сгушались непродолжительные туманы.

3. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для прогноза конвективных явлений особый интерес представляет выходная продукция численных моделей с высоким пространственным разрешением. В Гидромете Республики Беларусь используется численная негидростатическая региональная модель WRF-ARW с пространственным разрешением 15 км и 3 км и временным

разрешением до 48 часов. Первый домен – прямоугольная сетка с шагом по горизонтали 15 км (отмечен большой красной рамкой) и расчетной областью 240x250 точек, второй домен – вложенная сетка с шагом 3 км (отмечен малой синей рамкой) и расчетной областью 586x586 точек (см. Рис. 3).

Инициализация модели и задание граничных условий выполнена по данным численной модели прогноза GFS (Global Forecast System). Счет проводится 3 раза в сутки за исходные сроки 00, 06 и 12 UTC. Выходная продукция содержит более 60 метеопараметров с дискретностью 1 час.

Расчеты выполнялись с использованием следующих настроек модели WRF: микрофизика облачности – одномоментная схема WRF 6 класса; длинноволновая радиация – схема RRTM; коротковолновая радиация – схема Годдрода; пограничный слой – схема университета Ёнсей; конвекция – схема Каина-Фритша; приземный слой – схема подобию MM5.

Кроме счета модели WRF-ARW в Гидромете обрабатывается выходная продукция глобальных моделей: GFS с пространственным разрешением 28 км и дискретностью по времени 6 часов, заблаговременностью 144 часов, а также UM (United Kingdom Met Office) с пространственным разрешением 89 км, дискретностью по времени 6 часов и заблаговременностью 144

часов. Информация поступает по каналам связи и скачивается с FTP-серверов в коде GRIB.

Для прогноза опасных конвективных явлений на основании выходных данных численных моделей, используются индексы неустойчивости, которые характеризуют степень конвективной неустойчивости атмосферы, содержание водяного пара в атмосфере, вертикальный сдвиг горизонтального ветра, спиральность, а также совместное влияние перечисленных и других факторов на развитие опасного явления. Каждый из индексов имеет приближенное пороговое значение. В работе рассматривались следующие индексы неустойчивости, в скобках приведены пороговые значения, при которых возможно образование мощного конвективного явления: индекс CIN (<0) – энергия, необходимая частице воздуха для преодоления задерживающего слоя ниже уровня свободной конвекции в нижней тропосфере (Convective Inhibition), Дж/кг ($\text{м}^2/\text{с}^2$); индекс CAPE (>1000) – энергия плавучести, которую частица воздуха может приобрести выше уровня свободной конвекции (Convective Available Potential Energy), Дж/кг; индексы TT (>44) Total Totals и K-index, характеризующие совместное влияние стратификации температуры и содержания водяного пара, °C; Индекс LIFT (<1) оценивает степень стабильности, которая измеряется разностью между температурами поднимающейся частицы и окружающей

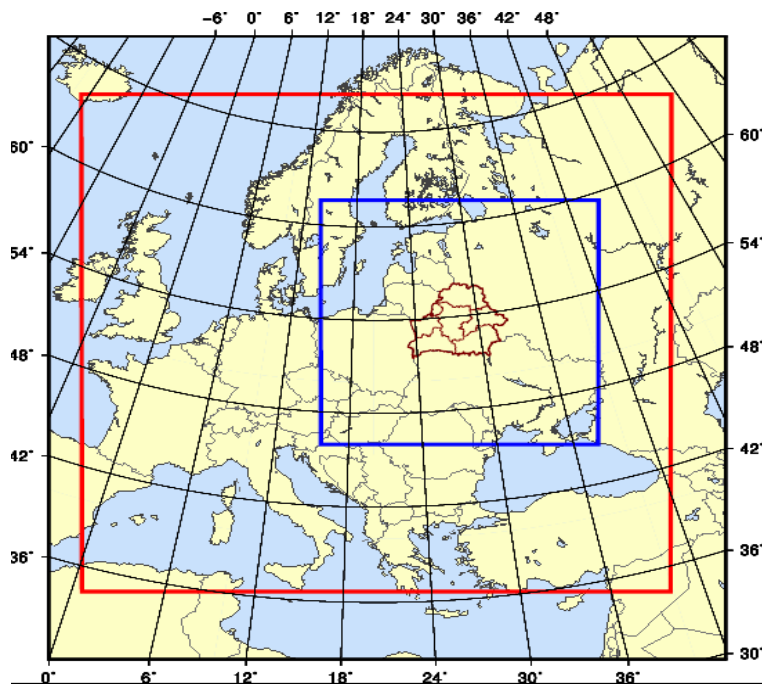


Рис. 3 – Домены мезомасштабной модели WRF

среды на уровне 500 гПа, °C; Thompson index (>25) – выражается как разница между K-index и LIFT.

4. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прохождение мощного конвективного шторма над Минском отмечалось в 12 UTC (см. Рис. 4).

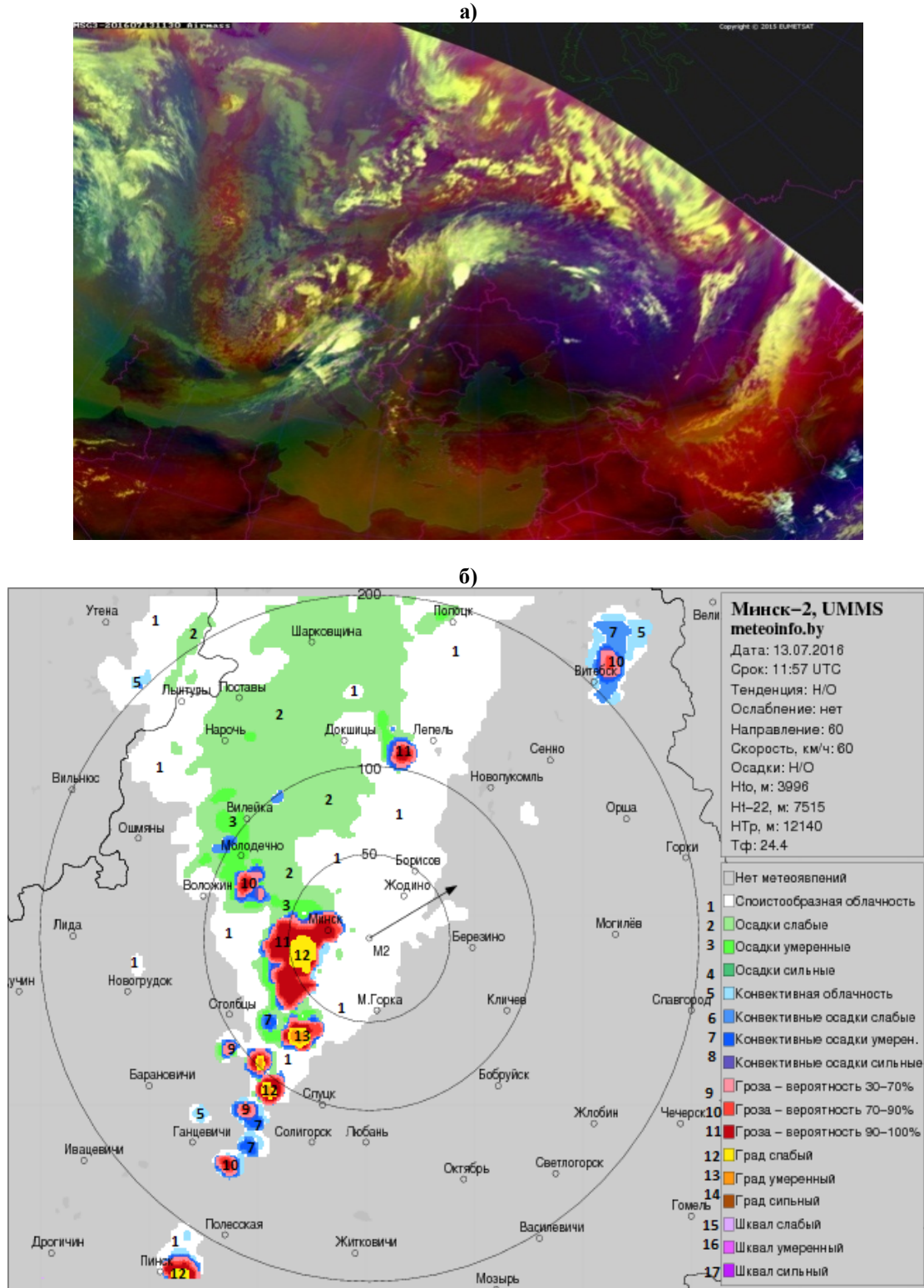


Рис. 4 – Снимки: а) спутниковые – 13.07.2016 г. 12 UTC; б) радарные – 13.07.2016г. 12 UTC

В таблице 1 представлены результаты расчетов индексов конвективной неустойчивости для численных моделей, использующиеся в Гидромете Республики Беларусь. Анализ представленных результатов показал, что все значения рассмотренных индексов указывают на возможность развития опасного явления.

Наиболее высокие значения соответствуют моделям с высоким пространственным разрешением (WRF с шагом 3 км и 15 км).

Радиолокационная отражаемость, полученная с помощью модели WRF (см. Рис. 5), также показала удовлетворительный результат.

Сопоставляя полученный прогноз с радиолокационными и спутниковыми наблюдениями, можно прийти к выводу, что наиболее приближена к наблюдаемой ситуации была модель WRF с шагом 3 км.

Таким образом, модель WRF в целом успешно прогнозирует развитие и распространение конвективных явлений. Однако в рассмотренном случае, согласно наблюдениям доплеровского лоатора Минск-2, конвективная система прошла севернее, чем это прогнозировалось.

Таблица 1 – Численный прогноз индексов неустойчивости для г. Минска на 12 UTC 13.07.2016 г.

Модель	Шаг, км	CIN	CAPE	LIFT	Thompson index	K index	Total Totals index
UM	89	-	-	-	-	25	48
GFS	28	-1	1635	-5	34	29	49
WRF	15	-14	1529	-5	36	31	49
WRF	3	-6	2314	-7	38	31	51

Максимальная отражаемость на 12 СТВ 13.07.2016 WRF_3
по исх. данным за 00 СТВ 13.07.2016.

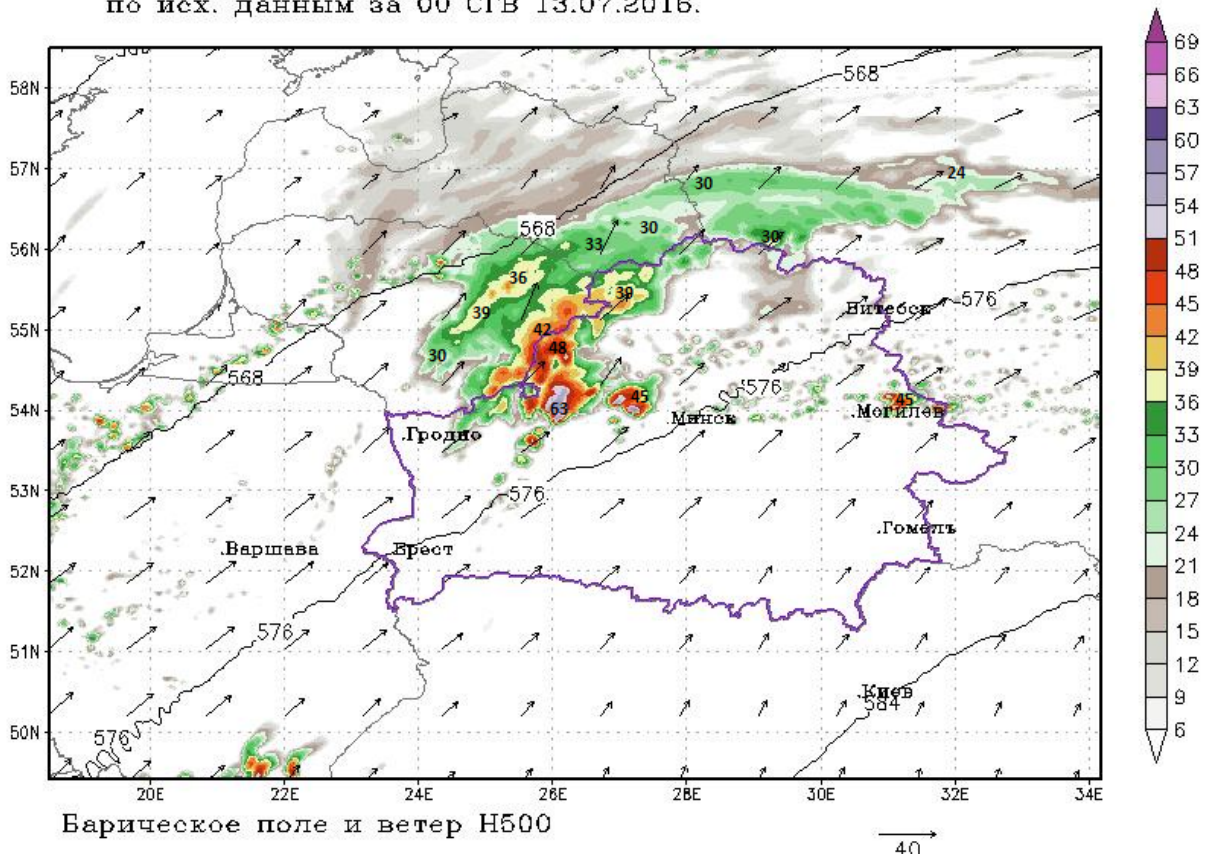


Рис. 5а – Максимальная отражаемость по данным модели WRF с шагом 3 км. в 12 UTC за 13.07.2016 г. 00 UTC

Максимальная отражаемость на 12 СВВ 13.07.2016 WRF_15
по исх. данным на 00 СВВ 13.07.2016.

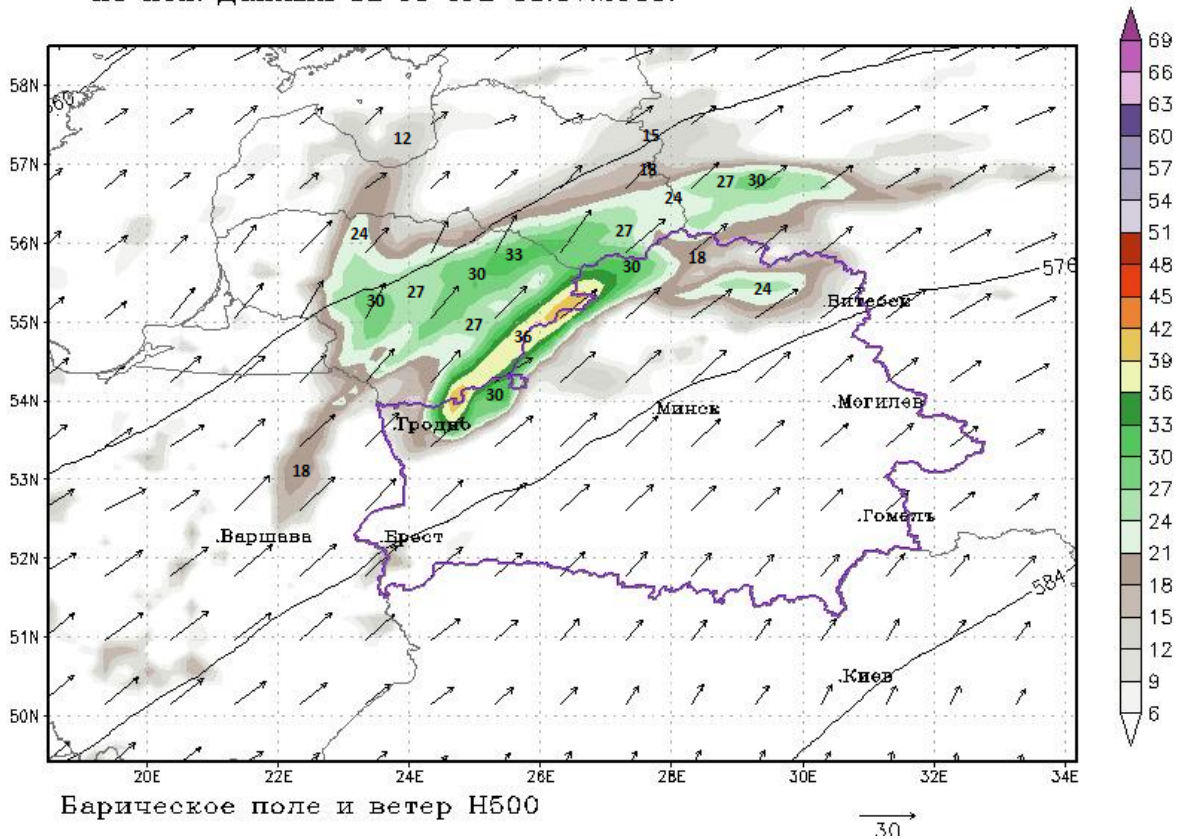


Рис. 56 – Максимальная отражаемость по данным модели WRF с шагом 15 км в 12 UTC за 13.07.2016 г. 00 UTC

В Гидромете Республики Беларусь для прогноза гроз и активной конвекции применяются автоматизированные методики Славина и Решетова, использующие метеорологические поля численных моделей. В основе комплексного метода Решетова Г. Д. лежит расчет высоты вершин кучево-дождевой облачности (Нв), значение температуры воздуха на этой высоте (Тв) и толщина слоя облака, его верхней части, в которой наблюдаются отрицательные температуры (ΔН) [2]. Метод Славина И. А. основывается на неадиабатической модели конвекции с учетом условий возникновения гроз. По Славину, гроза возникает, если разность между температурами облачного воздуха и окружающего воздуха 500 мбар превышает некоторую критическую величину. Важно отметить тот факт, что в методе учитываются только термодинамические факторы грозообразования и в очень приближенной форме – перенос. Метод рассчитан для использования при прогнозе внутримассовых гроз, хотя дает хорошие результаты и в условиях типичных для летнего периода размытых

фронтальных разделов [3, 4, 5, 6].

Для случая 13. 07. 2016 была произведена категориальная оценка оправдываемости прогноза методик. Результат представлен в таблице 2.

Наибольшие значения общей оправдываемости (РС) и прогноза отсутствия события (U) соответствует методу Решетова. Для метода Славина наблюдается минимальное значение предупрежденности факта наличия события (POD). Для обоих методов наблюдается большое количество ложных тревог (FAR). Важную роль в оценке прогнозов опасных явлений играет критерий Пирси-Обухова (НК), при успешном прогнозе он стремится к 1. Кроме того, для характеристики успешности метода прогнозов с учетом случайных прогнозов, приводится критерий Н. А. Багрова (Н), при оправдавшихся прогнозах Н=1 [7, 8, 9]. Проведенный анализ показал, что высокую оправдываемость демонстрируют модели с высоким пространственным разрешением.

Таблица 2 - Статистические показатели успешности прогноза гроз по методам Славина и Решетова для случая 13.07.2016 г.

	Метод Славина				Метод Решетова			
	UM	GFS	WRF	WRF	UM	GFS	WRF	WRF
Шаг, км	89	28	15	3	89	28	15	3
PC, %	37	55	35	51	73	76	73	80
SR, %	67	100	50	83	83	76	73	78
U, %	35	44	33	41	60	73	75	89
POD, %	6	31	6	31	75	91	94	97
PODN, %	94	100	88	88	71	47	35	47
FBIAS	0.09	0.31	0.12	0.37	0.91	1.19	1.28	1.25
FAR, %	33	0	50	17	17	24	27	23
POFD, %	6	0	12	12	29	53	65	53
ETS	0	0.14	-0.02	0.08	0.28	0.26	0.2	0.33
HK	0	0.31	-0.06	0.19	0.46	0.38	0.29	0.44
H	0	0.24	-0.04	0.15	0.44	0.41	0.33	0.49

5. ВЫВОД

Использование индексов конвективной неустойчивости, рассчитанных по метеорологическим величинам с помощью прогностических моделей, и расчетных методов может облегчить прогноз конвективных явлений. Выбор индексов неустойчивости и расчетных методов обусловлены особенностями исследуемой территории, что требует дальнейшего изучения.

Результаты выполненной работы показали, что для прогноза конвективных явлений требуется использование моделей с высоким пространственным разрешением. Однако для более точного прогноза конвективных явлений необходимо привлечение радиолокационных, спутниковых, аэрологических наблюдений в расчеты численных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lapo Palina, Yaroslava Sokolovskaya, Svetashev Alexander, Krasouski Alexander, Barodka Siarhei, Leonid Turishev, Siarhei Barodka. Summertime Thunderstorms Prediction in Belarus. *European Geoscience Union General Assembly 2015, held 14-17 April, 2015*, EGU2015-14170.
2. Решетов Г. Д. Прогноз дневных и ночных гроз // Труды ГМЦ СССР. 1977. Вып. 176. С. 86.
3. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 711 с.
4. Богаткин О. Г., Тараканов Г. Г. Основы метеорологии. СПб.: РГМУ, 2007. 232 с.
5. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 300 с.

6. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь / под ред. В. И. Кузьменко. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.
7. *Recommendations for the Verification and Intercomparison of QPFs and PQPFs from Operational NWP Models*. WMO/TD-No.1485 (WWRP 2009-1).
8. РД 52.27.284-91. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. Москва, 1991. 150 с.
9. *The Centre for Australian Weather and Climate Research. Forecast Verification Issues, Methods and FAQ*. URL: <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/> (accessed 25 January 2017)

REFERENCES

1. Lapo Palina, Yaroslava Sokolovskaya, Svetashev Alexander, Krasouski Alexander, Barodka Siarhei, Leonid Turishev, Siarhei Barodka. Summertime Thunderstorms Prediction in Belarus. *European Geoscience Union General Assembly 2015, held 14-17 April, 2015*, EGU2015-14170.
1. Reshetov G. D. Forecast of day and night thunderstorms. *Trudy GMTs SSSR – Proceedings of the State Meteorological Center of the USSR*, 1977, vol. 176, p. 86. (In Russian)
2. Zverev A. S. *Sinopticheskaya meteorologiya* [The Synoptic meteorology]. Leningrad: Gidrometizdat, 1977. 711 p.
3. Bokatkina O. G., Tarakanov G. G. *Osnovy meteorologii* [The Fundamentals of meteorology]. St. Petersburg: RSHMU, 2007. 232 p.
4. Matveev L. T. *Kurs obshchey meteorologii. Fizika atmosfery* [The general meteorology course. The physics of the atmosphere]. Leningrad: Gidrometizdat, 1984. 300 p.
5. Khromov S. P., Mamontova L. I. *Meteorologicheskii slovar'* [Meteorological dictionary]. Leningrad: Hydro-

- metizdat, 1974. 568 p. (Ed.: V. I. Kuzmenko).
6. *Recommendations for the Verification and Intercomparison of QPFs and PQPFs from Operational NWP Models.* WMO/TD-No.1485 (WWRP 2009-1).
7. GD 52.27.284–91. *Methodological recommendation. Conducting operational (operational) tests of new and improved methods of hydrometeorological and heliographic forecasts.* Moscow, 1991. 150 p. (In Russian).
8. *The Centre for Australian Weather and Climate Research. Forecast Verification Issues, Methods and FAQ.* URL: <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/> (accessed 25 January 2017)

CONVECTIVE PHENOMENA FORECASTING BASED ON OUTPUT DATA OF NUMERICAL MODELS AVAILABLE IN THE HYDROMETEOROLOGICAL CENTRE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

M. I. Prokharenya, computer programmer

*Center of Hydrometeorology, Radioactive Contamination and Environmental Monitoring of the Republic of Belarus
110 Nezavisimosti av, Minsk, The Republic of Belarus, maryprokharenya@gmail.com*

In the article you can read about the methods used for forecasting convective processes by means of output products of numerical models with various spatial resolution. It presents the methods for forecasting convective phenomena applied in the Hydrometeorological Centre of the Republic of Belarus. The state of the atmosphere affected by intensive convection over the territory of the Republic of Belarus on July 13, 2016 is analyzed. The categorial evaluation of the thunderstorm forecasting methods by G.D. Reshetov and I.A. Slavin is specified with the respective results presented. The article analyzes the forecast of convective phenomena conducted with the help of the non-hydrostatic regional model WRF-ARW.

Use of convective instability indices and calculation methods can facilitate convective phenomena forecasting. The advantage of their use consists in possibility of their application within the areas not covered by aerological sounding. However, selection of indicators of instability and methods of thunderstorm and other dangerous phenomena forecasting depends on features of an area under study and this requires further research.

To ensure more accurate convective phenomena forecasting it is necessary to consider radar, satellite and aerological observations when conducting numerical model calculations. The results of the research showed that convective phenomena forecasting requires use of models with a high spatial resolution.

Keywords: indices of instability, the method of G. D Reshetov, the method of I. A. Slavin, categorial evaluation, the Republic of Belarus.

ПРОГНОЗ КОНВЕКТИВНИХ ЯВИЩ НА ОСНОВІ ВИХІДНИХ ДАНИХ ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ В ГІДРОМЕТЕОЦЕНТРІ РЕСПУБЛІКИ БІЛОРУСЬ

М. І. Прохареня, інженер-програміст

ДУ «Республіканський центр з гідрометеорології, контролю радіоактивного забруднення та моніторингу навколишнього середовища», пр. Незалежності, 110, 220114, м. Мінськ, Республіка Білорусь, maryprokharenya@gmail.com

Наводяться способи прогнозу конвективних процесів з використанням вихідної продукції чисельних моделей з різним просторовим дозволом. Представлено способи прогнозу конвективних явищ, що використовуються в Гідрометі Республіки Білорусь. Аналізується стан атмосфери при інтенсивній конвекції над територією Республіки Білорусь 13 липня 2016 р. Дається оцінка методів прогнозу гроз Решетова Г. Д. та Славина І. А. Розглянуто прогноз конвективних явищ за допомогою чисельної моделі WRF-ARW. Результати виконаної роботи показали, що для прогнозу конвективних явищ потрібне використання моделей з високим просторовим розширенням.

Ключові слова: індекси нестійкості, метод Решетова Г. Д., метод Славина І. А., категоріальна оцінка, Республіка Білорусь

Дата першого подання: 17. 03. 2017

Дата надходження остаточної версії: 19. 04. 2017

Дата публікації статті: 29. 06. 2017