

**М. И. Прохареня<sup>1</sup>, А. А. Спрыгин<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: maryprokharenya@gmail.com*<sup>2</sup>*Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Московская область, Россия,  
e-mail: spralexandr@gmail.com***ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОМПЛЕКСНОГО ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА  
МОЩНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ СТРУКТУР НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ДЛЯ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА 2018 ГОДА**

Рассматриваются методы и инструменты, позволяющие наиболее эффективно выявить и спрогнозировать опасные конвективные явления, такие как гроза, ливень, град, шквал и т.п. Особенность данных опасных явлений – быстрая эволюция во времени и пространстве, поэтому своевременное выявление и прогнозирование данных явлений остается актуальной задачей. Так как одним из условий, влияющих на развитие конвективных явлений, является пространственно-временное распределение, в статье дается краткая характеристика распределения конвективных явлений на территории Беларуси. Приводятся некоторые комплексные системы и методы, которые используются в мировой практике для прогноза опасных явлений. В работе представлена методика комплексного диагноза и прогноза мощных конвективных структур. В основе этой методики лежит использование данных численной модели с высоким пространственным разрешением и данных дистанционного зондирования. Методика апробирована для летнего периода 2018 г. над территорией Республики Беларусь. Для анализа успешности методики использовались данные дистанционного зондирования, а также метеостанций. Результаты исследования показывают, что с помощью данной методики существует возможность достоверного диагноза сложных и мощных конвективных структур, таких как мезомасштабные конвективные комплексы и другие мезомасштабные конвективные системы. Иногда, в зонах активных циклонов, вдоль фронтов, предположительно в областях крупномасштабного выноса водяного пара в верхние слои тропосферы, могут наблюдаться случаи ложного выявления зон мощной конвекции. В связи с этим для маскирования этих ложных зон в методику внесен дополнительный параметр – индекс плавучести.

**Ключевые слова:** мощный конвективный шторм, индексы неустойчивости, геостационарные данные MSG, прогностическая модель GFS, метод комплексного диагноза конвективных структур MSG\_Stratification

**M. I. Procharenya<sup>1</sup>, A. A. Sprygin<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
e-mail: maryprokharenya@gmail.com*<sup>2</sup>*Central Aerological Observatory, Dolgoprudny, Russia,  
e-mail: spralexandr@gmail.com***THE USING OF THE METHOD OF COMPLEX DIAGNOSIS AND FORECAST OF STRONG CONVECTIONAL  
STRUCTURES OVER THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS FOR THE SUMMER PERIOD 2018**

In the present study we analyzed the main methods and tools used for identify and predict dangerous convective events such as thunder, rain, hail and so on. The specialty of these event consists of the rapid evolution in time and space. Therefore the timely detection and prediction of these events are still important task. The article gives a brief description of the spatial and temporal distributions of convective phenomena in Belarus. Some complex systems and methods using in the world practice to predict hazardous phenomena were analyzed. The method of complex diagnosis and forecasting of severe convective structures was observed. The method is based on using of numerical model data with high spatial resolution and remote sensing data. The study period covered the time interval summer period of 2018. For verification radar and weather station data were used. The results showed that the method has more accuracy for severe convective structures, such as the mesoscale convective complexes and another mesoscale convective systems. Sometimes, in zones of active cyclones, along fronts, presumably in areas of large-scale removal of water vapor to the upper layers of the troposphere, there may be cases of false detection of areas of powerful convection. In this regard, to mask these false zones, an additional parameter was introduced into the methodology – the lifted index (one of convective instability index).

**Keywords:** powerful convective storm, instability indexes, geostationary MSG data, GFS numerical model, complex diagnostic method of convective structures MSG\_Stratification

**M. I. Прахарэня<sup>1</sup>, А. А. Спрыгін<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь,  
e-mail: maryprokharenya@gmail.com*<sup>2</sup>*Цэнтральная аэралагічная абсерваторыя, Даўгапрудны, Маскоўская вобласць, Расія,  
e-mail: spralexandr@gmail.com***ВЫКАРЫСТАННЕ МЕТАДУ КОМПЛЕКСНАГА ДЫАГНАЗУ І ПРАГНОЗУ СКЛАДАНЫХ КАНВЕКТЫВНЫХ З'ЯЎ  
НАД ТЭРЫТОРЫЯЙ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ ЛЕТНЯГА ПЕРЫЯДУ 2018 ГОДА**

У рабоце разглядаюцца метады і інструменты, якія дазваляюць найбольш эфектыўна выявіць і спрагназіраваць небяспечныя канвектыўныя з'явы, такія як навальніца, лівень, град, шквал і іншыя. Асабліва сур'ёзныя дадзеныя небяспечных з'яў – хуткая эвалюцыя ў часе і прасторы, таму своечасовае выяўленне і прагназіраванне дадзеных з'яў застаецца актуальнай задачай. Так як адной з умоў, якія ўплываюць на развіццё канвектыўных з'яў, з'яўляецца прасторава-часовае размеркаванне, у рабоце даецца кароткая характарыстыка размеркавання канвектыўных з'яў на тэрыторыі Рэспублікі

Беларусь. Приводзяцца некаторыя комплексныя сістэмы і метады, якія выкарыстоўваюцца ў сусветнай практыцы для прагнозу небяспечных з'яў. Прадстаўлена метадыка комплекснага дыягнозу і прагнозу канвектыўных структур. У аснове прыведзенай метадыкі ляжыць выкарыстанне лікавай мадэлі з высокім прасторавым дазволам і даных дыстанцыйнага зандзіравання. Метадыка апрабавана для летняга перыяду 2018 г. над тэрыторыяй Рэспублікі Беларусь. Ацэнка вынікаў праводзілася па даным дыстанцыйнага зандзіравання, а таксама метэастанцый. Устаноўлена, што дадзеная метадыка паказвае добрыя вынікі для складаных канвектыўных структур. Часам, у зонах актыўных цыклонаў, уздоўж франтоў, як мяркуецца, у вобласці буйнамасштабнага вынасу вадзянога пару ў верхнія слаі трапасферы могуць назірацца выпадкі недакладнага выяўлення магутнай канвекцыі. У сувязі з гэтым для маскіравання гэтых зон у метадыку ўнесены дадатковы параметр – індэкс канвектыўнай няўстойлівасці.

**Ключавыя словы:** магутны канвектыўны шторм, індэксы няўстойлівасці, геастацыянарныя дадзеныя MSG, прагнастычная мадэль GFS, метады комплекснага дыягнозу канвектыўных структур MSG\_Stratification

**Введение.** Среди многообразия опасных метеорологических явлений некоторые из них связаны с процессами мощной конвекции в атмосфере (такие, как интенсивные грозы, сильные ливни, град, шквалы, смерчи) и являются наиболее разрушительными. Поэтому для повышения качества их диагноза и прогноза, исследование имеет большое практическое значение. При подобных исследованиях важно применение комплексного подхода: сочетание использования как фактических данных дистанционного зондирования атмосферы (радарных, спутниковых и др.), аэрологического зондирования, данных сети метеостанций, так и их сопоставление с расчетами прогностических моделей.

Так как прогноз конвективных процессов ограничен во времени и пространстве и ни одна современная численная модель не в состоянии спрогнозировать с большой точностью данные явления, во всем мире набирает популярность система наукастинга.

По определению Всемирной метеорологической организации (ВМО) наукастинг (nowcasting) – это сверхкраткосрочный прогноз явлений погоды в пределах 0–6 ч от срока наблюдения. В качестве информации для наукастинга обычно используются различные виды наблюдений (данные метеорологических станций, метеорологических радиолокаторов (МРЛ) и т. п.). Основопологающим этапом такой системы является диагноз, т.е. выявление условий для наличия конвекции и ее интенсивности [1–3].

Актуальность данной работы определяется повышенным интересом к комплексным методам, позволяющим на основании данных дистанционного зондирования и данных численной модели прогноза погоды с высоким пространственным разрешением, эффективно анализировать краткосрочные изменения в конвективных структурах. Данные методы являются основой для формирования сверхкраткосрочного прогноза погоды. Важная составляющая комплексных методов – учет пространственно-временных особенностей региона, поэтому необходимо проводить тщательный анализ имеющихся методик на успешность применения в конкретном регионе.

Цель данной работы – анализ успешности метода комплексного диагноза и прогноза мощных конвективных структур *MSG\_Stratification* для территории Республики Беларусь. В основе данного подхода – использование алгоритмов спутникового диагноза различных конвективных характеристик, что достигается за счет комбинации спутниковых каналов, температурных трендов, и использование полей краткосрочных моделей.

В работе поставлены следующие задачи: анализ пространственно-временных особенностей распределения конвективных явлений для территории Республики Беларусь; анализ мировых методик, позволяющих диагностировать мощные конвективные структуры; произвести расчет зон мощной конвекции с использованием метода *MSG\_Stratification* для летнего периода 2018 г. для территории Республики Беларусь; выявить эффективность исследуемого метода на основании данных метеостанций и радиолокационных наблюдений.

Приведен комплексный анализ случаев формирования конвективных структур, проходящих через территорию Республики Беларусь за период с мая по сентябрь 2018 г.

Анализ и апробация данного метода позволит дать рекомендации для включения в информационную систему комплексного диагноза, прогноза и наукастинга мощных конвективных структур (конвективных штормов) и связанных с ними опасных явлений.

**Пространственно-временное распределение опасных конвективных явлений за летний период 2018 г.** Всякое атмосферное явление характеризуется географическим распределением, которое зависит от множества факторов. Особенности пространственно-временного распределения конвективных явлений по территории Беларуси рассмотрено в ряде исследований [4, 6].

Наиболее часто встречаемое конвективное явление – гроза. Большинство случаев образования гроз на территории Беларуси связано с прохождением фронтов (85 %), чаще всего

холодных. Около 15 % составляют термические внутримассовые грозы [4]. Территориальное распределение дней с грозами имеет свои особенности на территории Республики Беларусь. Наибольшее число дней с грозовой активностью на территории Белорусского Полесья. Число дней с грозами уменьшается с юга на север. Данный факт связан с уменьшением водности облаков, которая убывает с понижением температуры. Кроме того, отмечаются и долготные особенности в распределении гроз: малое количество дней с грозой отмечаются между 28° и 31° в.д. на севере Беларуси. Второй минимум грозовой активности отмечается в северо-западной части Беларуси (Вилейский, Докшицкий и Ошмянский районы). Повторяемость гроз определяется не только синоптическими условиями, но и свойствами подстилающей поверхности.

На территории Беларуси выделяются несколько районов интенсивной шквалистой деятельности. Это северо-восточный район (Езерище) и северо-западная часть (Докшицы, Шарковщина, Верхнедвинск). Активная шквалистая деятельность отмечается и в Предполесском регионе по линии Волковыск–Слуцк–Бобруйск, где зафиксированы рост скорости ветра, либо незначительное его падение.

Шквалы наблюдаются преимущественно в теплое время года, в период с апреля по август, на юге Беларуси отдельные шквалы отмечаются в марте и сентябре. Нередко они сопровождаются интенсивными ливнями, грозой, а в ряде случаев с градом. В целом наблюдается около 4 дней с разрушительными шквалами, которые захватывают до 5–10 административных районов страны.

Град – это атмосферные осадки, выпадающие в теплое время года в виде частичек плотного льда диаметром от 5 мм до 15 см, обычно вместе с ливневым дождем и при грозе. При интенсивном выпадении града поверхность земли покрывается слоем толщиной до 20–20 см [5].

Среднее число дней с градом за год на территории Беларуси составляет около одного дня и колеблется от 1 до 2 дней, возрастая от низин к возвышенностям [6]. На возвышенных участках Полесья (162 м) град выпадает значительно чаще, чем на равнинной территории. Для этих районов характерны такие явления, как шквалы и грозы, что говорит об их взаимосвязи.

Основываясь на имеющихся исследованиях, был проведен анализ временного распределения опасных конвективных явлений (град, шквал, ливень, гроза) за летний период 2018 г. Результаты приведены на рис. 1.

Источником данных об опасных конвективных явлениях послужила база данных об опасных явлениях погоды на территории Европы (*ESWD, European Severe Weather Database*). В этой базе *ESWD* представлены сведения об опасных явлениях погоды, полученные наблюдательной сетью, очевидцами и средствами массовой информации [7].

Исходя из полученной зависимости, наибольшее число случаев с градом отмечалось по западным районам страны в мае. Шквалистое усиление ветра по большей части отмечалось по Брестской области. Максимальное количество гроз наблюдалось по западной части страны.

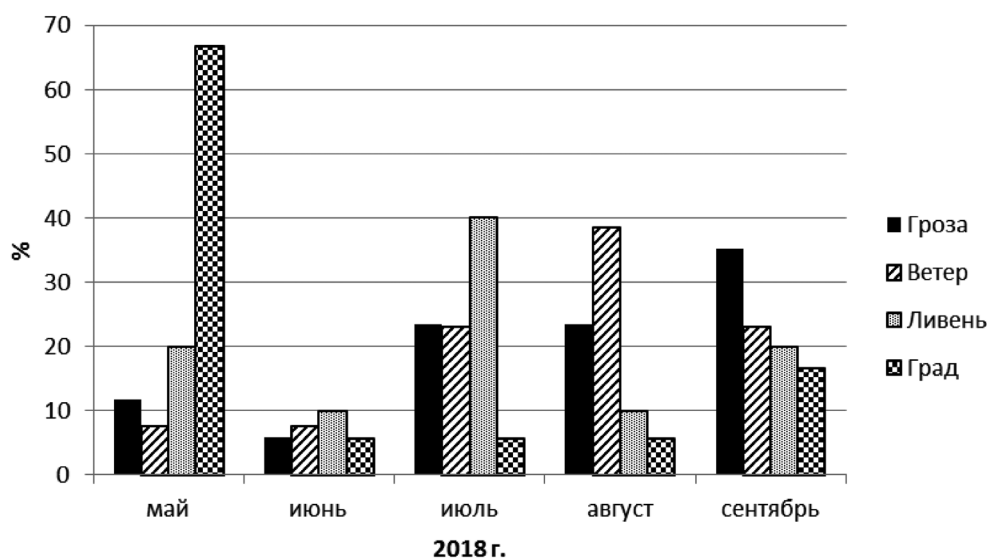


Рис. 1. Опасные конвективные явления за период май–сентябрь 2018 г.

Таким образом, можно сделать вывод, что на пространственно-временное распределение гроз влияет множество факторов, среди которых температура, рельеф, лесной покров, деятельность человека.

**Исходные данные и методы.** В настоящее время реализация прогнозов на очень короткие сроки базируется на широком спектре информации: наземной, радарной, спутниковой систем наблюдений. В основе технологи наукастинга для прогноза конвективных явлений чаще всего лежит использование спутниковой, радарной информации, сетей грозопеленгации, а также данных моделей с применением алгоритмов, таких как *RDT (Rapidly Developing Thunderstorms)* и др. [8].

Обычной практикой в системах наукастинга является формулировка вероятностных прогнозов, где в качестве предикторов привлекаются ансамблевые численные прогнозы. В настоящее время существует множество систем для диагноза и прогноза опасных явлений, базирующихся на использовании спутниковых данных. Достаточно популярны автоматические системы наукастинга, которые включают: интерграцию различных типов наблюдений, с помощью алгоритмов на основе численного прогноза расчет тенденций и прогноза, мониторинг опасных явлений. В данном исследовании приведен обзор наиболее популярных продуктов среди стран СНГ.

**Система комплексного отображения метеорологической информации METCAP+.** Разработана метеослужбой Турции (автор – *Kemal Dokuyucu*) для отображения и обработки практически всех видов метеорологической информации: данных метеостанций, аэрологического зондирования, модельных, спутниковых, радарных, грозопеленгационных данных и т.п. В какой-то мере является аналогом широко применяемой в метеослужбах СНГ системы АРМ ГИС-Метео. Для целей диагноза и прогноза мощной конвекции системы очевидным удобством системы является возможность совместного отображения и сопоставления необходимых параметров, важных для быстрой оценки ситуации прогнозистом. В системе реализовано отображение технологий диагноза, таких как RGB-композиционных изображений и некоторых продуктов алгоритмов *SAF NWC* и наложение этих и иных видов данных [9].

Кроме того, в исследованиях при расчетах индексов конвекции и визуализации других метеорологических полей по модельным данным используется программное обеспечение *Open Grads* и *McIDAS-V*, для диагноза штормов – спутниковые данные *Meteosat-11 (MSG-3)* в виде как RGB-композиционных изображений (построенные с помощью ПО *MSGProc* и *McIDAS-V*), так и изображений, полученных с помощью специальных алгоритмов обработки [10].

**Методы распознавания конвективных очагов, основанные на алгоритмах детекции по пороговым параметрам спутниковых данных (спектральных каналов), а также синхронным модельным прогностическим данным (в некоторых алгоритмах).** Данная группа методов предназначена для детектирования зон конвекции, грозовых зон, зон превышения вершиной облака уровня тропопаузы и других параметров, важных для оценки мощности, стадии развития (жизненного цикла) штормов, а также с целью наукастинга конвективных очагов (прогноза положения, оценки трансляции и эволюции). Некоторые методы, применяемые в мировой практике, следующие.

**Грозовой модуль RDT системы спутникового диагноза и наукастинга SAF NWC.** Сложный и многоступенчатый алгоритм, разработанный (и постоянно обновляемый) ведущими организациями проекта наукастинга на основе спутниковых данных *SAF NWC*. На входе алгоритма используются данные каналов *IR 10.8*, *WV 6.2*, *WV 7.3*, грозопеленгации, моделей (*NWP*), на выходе – информация в коде *BUFR*: пространственно-временные характеристики каждого идентифицируемого очага [8].

**Система диагноза конвекции и стадии развития штормов NEFODINA.** Данный алгоритм был разработан Итальянской метеорологической службой Военно-воздушных сил *Italian Air Force Met Service (IAFMS)* для диагноза наличия и интенсивности грозы с использованием только геостационарных спутниковых данных *MSG* [11]. Используя многоканальный подход, алгоритм выявляет положение конвективных центров в облачных системах (от мезомасштабных систем до одноячейковых гроз). Более того, алгоритм *NEFODINA* определяет также стадию жизненного цикла (фазы развития/распада) конвективных объектов *Convective Objects (CO<sub>s</sub>)*.

Приведенные алгоритмы обладают рядом преимуществ, однако каждый продукт предназначен для использования на той или иной территории, которые различаются пространственно-временными особенностями распределения параметров конвекции. Чтобы уменьшить влияние дополнительных факторов, для исследования был выбран простой, но не менее эффективный алгоритм бразильских исследователей (авторы: *Carlos Pinta da Silva Neto* и др.)

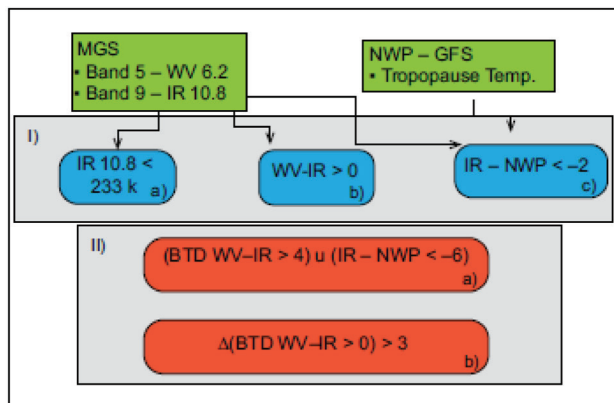


Рис. 2. Схема алгоритма выявления зон мощной конвекции MSG\_Stratification [12]

$IR10.8 \mu m$ ,  $WV6.2 \mu m$  спутника Meteosat [13] и поля численного прогноза погоды ( $GFS$ ) с последующим комбинированием в 5 параметров, разделенных на 2 уровня для лучшей интерпретации районов с глубокой конвекцией. Анализ каналов  $IR10.8 \mu m$  и  $WV6.2 \mu m$  позволяет сделать заключение о наличии глубокой конвекции на верхнем уровне тропосферы и нижнем уровне стратосферы. Канал  $IR10.8 \mu m$  содержит информацию о температуре на верхней границе облака (как для дня, так и для ночи), а также о размере и фазе. Канал  $WV6.2 \mu m$  описывает содержание водяного пара, а также температуру на верхней границе облака.

На рис. 2 представлен подход, где каждый шаг определен соответствующим цветом: входные данные (зеленый), первичные параметры (синий) и вторичные параметры (красный).

Первый этап заключается в анализе пикселей каналов  $IR10.8 \mu m$ ,  $WV6.2 \mu m$ , т.е. температуры на верхней границе облака, и выявлении критических значений, т.е. предположение о возможном развитии конвекции. В качестве порогового значения выбрана температура 233 К, что соответствует высоко развитому облаку с ледяными кристаллами. Если температура, определенная по  $IR10.8 \mu m$ , выше порогового значения, то данная область исключается из расчетов.

Следующий шаг – выявление зон глубокой конвекции. Разница яркостной температуры ( $BTD$  или  $WV6.2 \mu m - IR10.8 \mu m$ ) соответствует предположению, что вертикальное развитие облака приближено к тропопаузе, т.е. блокирует радиацию из тропосферы, проникающую из космоса. Положительные значения  $BTD$  соответствуют зонам глубокой конвекции. Одним из основных механизмов конвекции является эквивалентность температуры частицы и окружающего воздуха на верхней границе конвективного слоя. В случае глубокой конвекции, данный уровень соответствует нижней тропосфере.

Третий параметр, сравнение температуры канала  $IR10.8 \mu m$  с температурой тропопаузы численной модели ( $NWP$ ), дает представление о пробое тропопаузы (*overshooting top*). Параметр позволяет оценить интенсивность зон глубокой конвекции, а значит, и косвенно оценить вероятность возникновения опасных явлений в исследуемой зоне.

Параметры второго уровня определяют температурные тренды и критические значения для более детальной визуализации. Следующий шаг – сравнение полей (изображений) в 15-минутном интервале анализируются поля за предыдущий интервал времени и текущий. Данный этап необходим для выявления динамики процесса. Выбор интервала времени обусловлен обновлением данных спутника Meteosat.

Выходная продукция данного алгоритма может быть представлена как в виде растрового файла, так и двоичных файлов NetCDF.

**Результаты и их обсуждение.** На территории Республики Беларусь за летний период 2018 г. отмечалось прохождение нескольких активных процессов: прохождения фронтов, линий неустойчивости, сопровождающихся грозами, градом и шквалами.

13 июля 2018 г. погоду в республике определял небольшой циклон, в системе которого наблюдался фронт окклюзии и линия неустойчивости (конвергенции) перед ним (рис. 3).

На поверхности 500 гПа отмечался высотный циклон, центр которого располагался к западу от приземного центра и почти совпадал с ядром холода на карте относительной топографии 500/1000 (рис. 4). При этом большая часть страны располагалась в неустойчивой воздуш-

диагноза и прогноза зон мощной конвекции *MSG\_Stratification* [12]. В качестве входных данных для расчета используются данные каналов спутников *MSG* (инфракрасного канала  $IR10.8 \mu m$  и канала водяного пара  $WV6.2 \mu m$ ) и данные модели *GFS* (температура на высоте тропопаузы).

В основе прогноза глубокой конвекции лежит анализ параметров влаги и неустойчивости. Использование данных спутникового зондирования в алгоритме позволяет получить необходимые параметры для большого региона и с небольшой частотой обновления (15 мин).

Исходные данные для расчета зон глубокой конвекции включают данные каналов

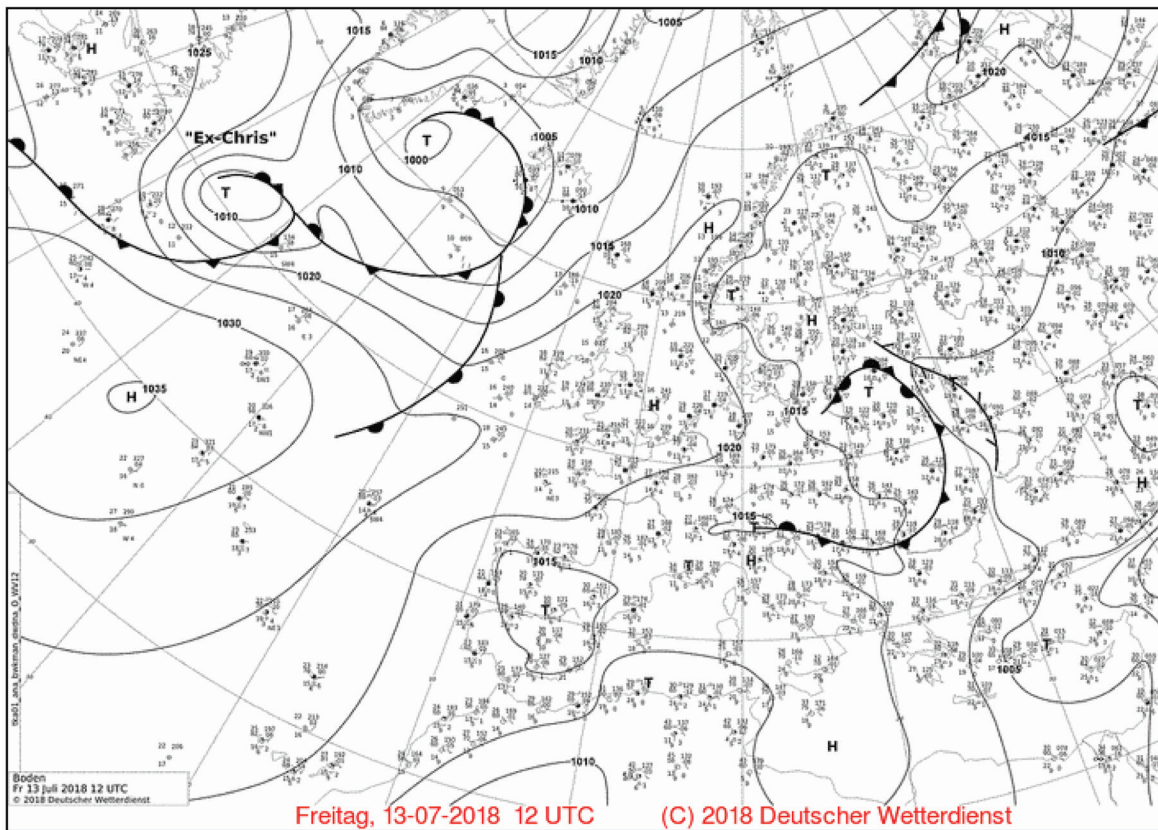


Рис. 3. Приземный анализ (центр DWD, Германия), 13 июля 2018 г. 12:00 UTC

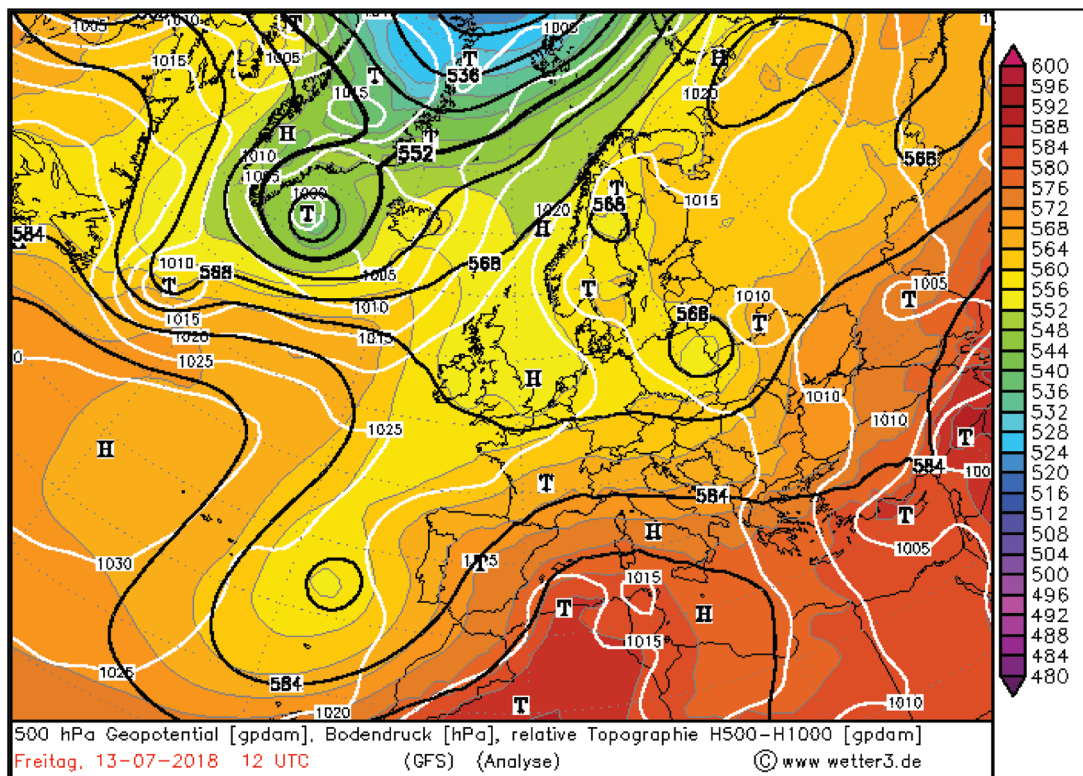


Рис. 4. Геопотенциал 500 гПа (гпдм, черные изолинии), H500/1000 (гпдм, цветовая заливка) и приземное давление (гПа, белые изолинии), GFS (Analyse) 13 июля 2018 г. 12:00 UTC

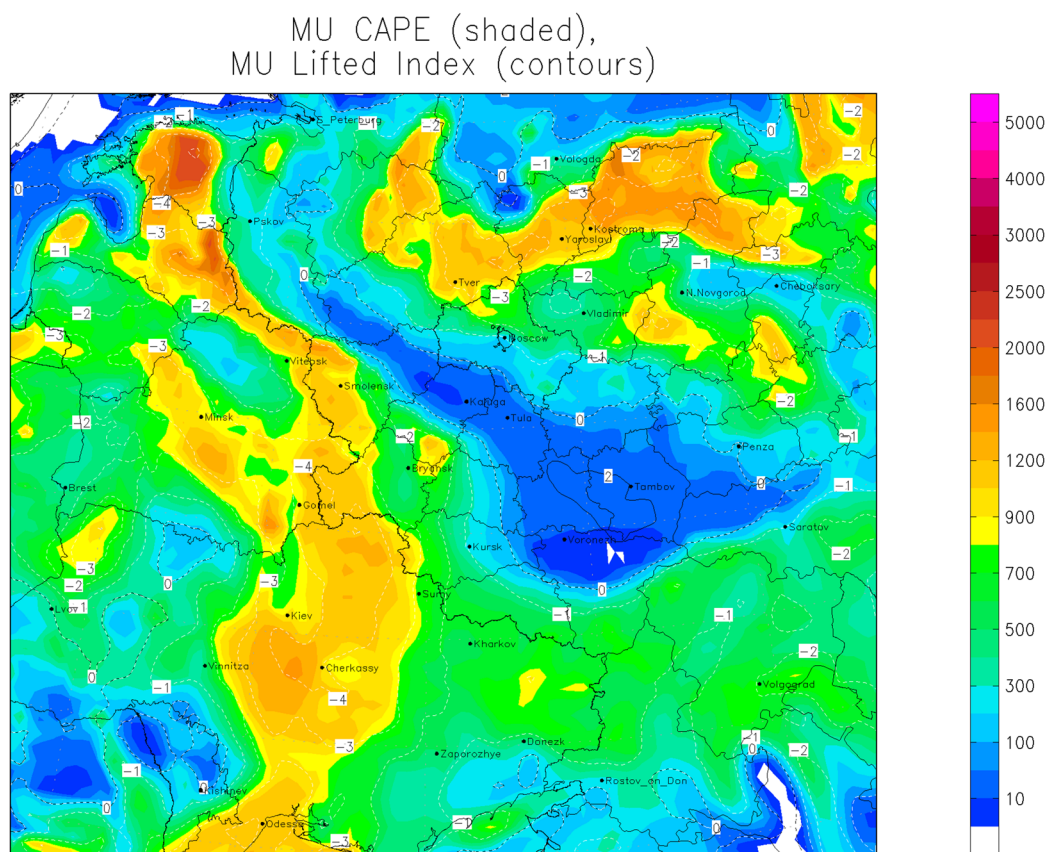
ной массе, энергия неустойчивости *CAPE* составила до 1200–1500 Дж/кг, индекс плавучести *LI* от –2 до –4 °С (рис. 5).

Опасные конвективные процессы развивались в неустойчивой воздушной массе, причем предположительно основным фактором явилось наличие достаточно выраженной зоны конвергенции потоков в приземном слое на фоне дивергенции – в верхних слоях тропосферы (рис. 6), которая достаточно долго стационарировала в системе влияния медленно движущегося циклона над территорией Республики Беларусь. Этим объясняется развитие системы достаточно мощных линейно-ориентированных конвективных штормов при отсутствии иных благоприятных факторов (завихренности, температурных контрастов, больших сдвигов ветра и др., часто сопутствующих развитию мощной организованной конвекции и опасных явлений).

На большей части территории отмечались сильные дожди, грозы, местами сильные ливни, в отдельных районах град. В отдельных районах шквалистое усиление ветра порывами до 15–20 м/с (рис. 7).

По результатам работы алгоритма выявлено, что наблюдается территориальное смещение (параллакс) зон конвекции, рассчитанных алгоритмом по сравнению с фактическим расположением очагов. Предположительно смещение связано с погрешностью, вносимой проекцией. Кроме того, наблюдаются выявления зон с ложным определением конвекции. Для увеличения точности обнаружения зон конвекции и уменьшения вероятности ложного обнаружения в алгоритм был внесен дополнительный параметр – индекс плавучести *Lifted Index*, рассчитанный по данным численной модели *GFS* [15]. Результаты работы алгоритма с учетом индекса плавучести и без его учета представлены на рис. 8.

Другой случай, 16 июля 2018 г., когда на большей части территории прошли грозовые дожди, в отдельных районах наблюдались сильные ливни, град. При грозах местами шквалистое уси-



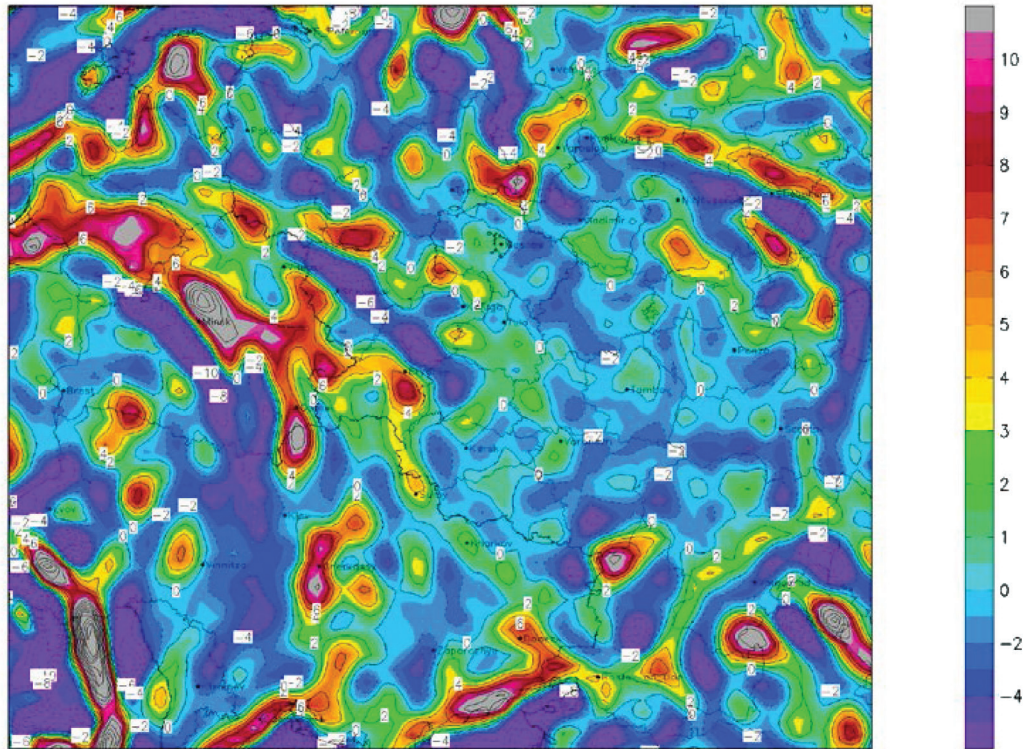
GFS Model : 12Z13JUL2018

GrADS: COLA/IGES

2018-07-15-08:21

Рис. 5. Энергия неустойчивости (*CAPE*, Дж/кг, цветовая заливка), индекс плавучести (*Lifted Index*, изолинии), *GFS* (*Analyse*) 13 июля 2018 г. 12:00 UTC

Divergence difference (300 hPa – 0\_30 hPa)



GFS Model: 12Z13JUL2018

GRADS: COLA/IGES

2018-07-15-08:22

Рис. 6. Разница дивергенции в приземном слое (0–30 гПа) и на уровне 300 гПа, с<sup>-1</sup>, GFS (Analyse) 13 июля 2018 г. 12:00 UTC

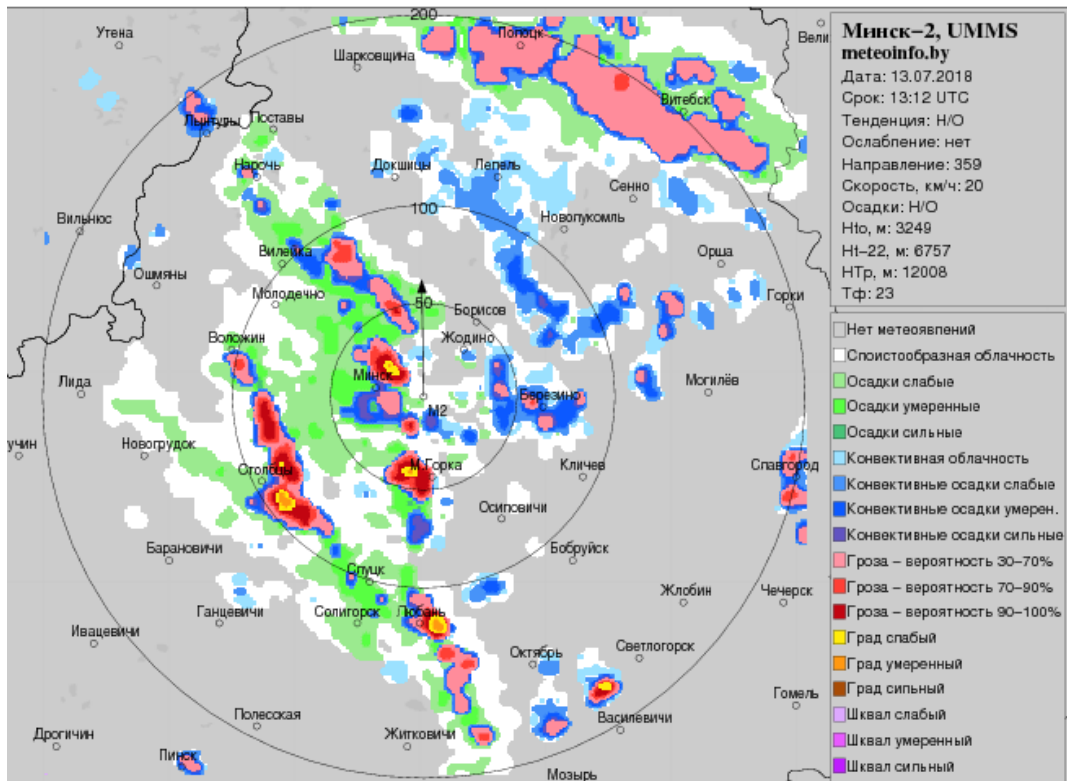


Рис. 7. Радарный снимок 13 июля 2018 г. 13:12 UTC [14]



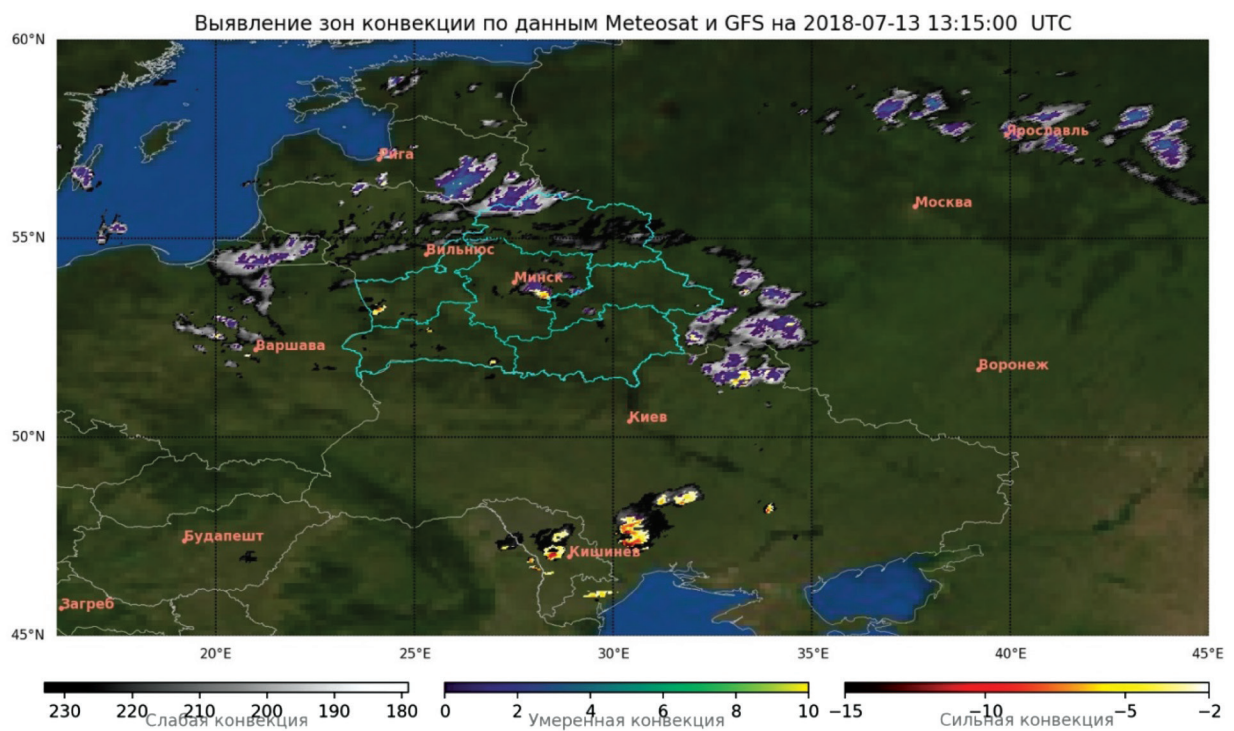
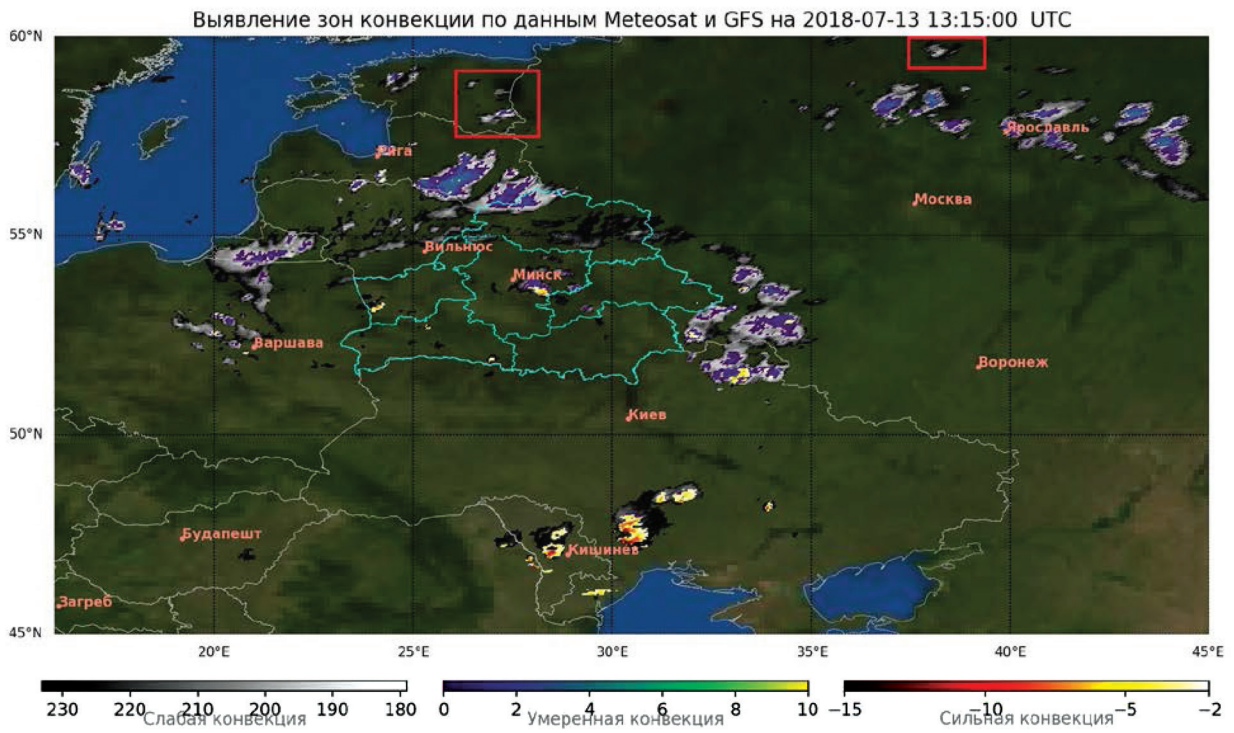


Рис. 8. Результаты работы алгоритма MSG\_Stratification на 13 июля 2018 г. 13:15 UTC без учета индекса плавучести (а) и с его учетом (б)

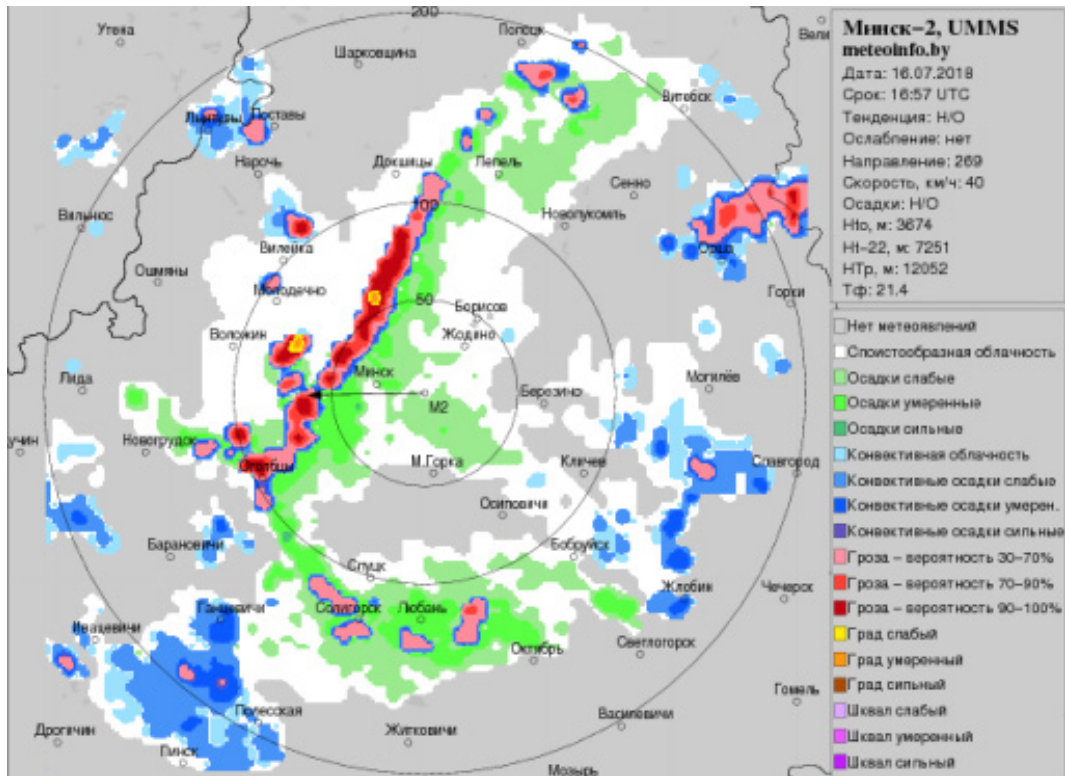


Рис. 9. Радарный снимок 16 июля 2018 г. 16:57 UTC [14]

ление ветра порывами до 15–20 м/с. В утренние часы местами по югу страны сгустились непродолжительные туманы.

Так же как и в первом случае наблюдается территориальное смещение (параллакс) зон конвекции. Результаты работы алгоритма с учетом индекса плавучести и без его учета представлены на рис. 10.

Результаты работы алгоритма с учетом добавочного параметра (индекс плавучести *Lifted Index*) на рис. 8 и 10 показывают, что внесенный параметр позволяет исключить ложные области слабой конвекции.

**Закключение.** Метеорологические явления, которые связаны с процессами мощной конвекции в атмосфере (интенсивные грозы, сильные ливни, град, шквалы, смерчи), являются наиболее разрушительными и поэтому повышение качества их диагноза и прогноза имеет большое практическое значение. В мировой и отечественной практике прогнозирования и диагноза структур и явлений, связанных с процессами мощной конвекции в атмосфере, существует множество методик. Наиболее доступной как по входным данным для расчета, так и по частоте поступления данных является алгоритм *MSG\_Stratification* (оперативные карты выявления зон конвекции по спутниковым и модельным данным). Существенный недостаток методики – применимость только для идентификации наиболее мощных конвективных структур. Этот недостаток связан с тем, что данные спутникового зондирования об облачности оказываются несколько завышенными по сравнению с наземными наблюдениями: теряются мелкие просветы в облаках (размером в 1–2 пиксела) и размеры облачных массивов увеличиваются из-за того, что частично заполненные облачностью пиксела на их краях целиком причисляются к облачным.

В целом алгоритм показывает уверенную идентификацию мощных конвективных структур. Полученные результаты наличия мощной конвекции соответствуют данным радиолокационных наблюдений, а также данным численного моделирования (индексы неустойчивости). Между тем анализ выходной продукции алгоритма с радиолокационными наблюдениями показывает территориальное отклонение от фактической области, что связано с особенностями проекции. В ходе исследований метода выявлено наличие ложного обнаружения областей конвекции. Для исключения данного фактора в алгоритм была введена поправка в качестве индекса плавуче-

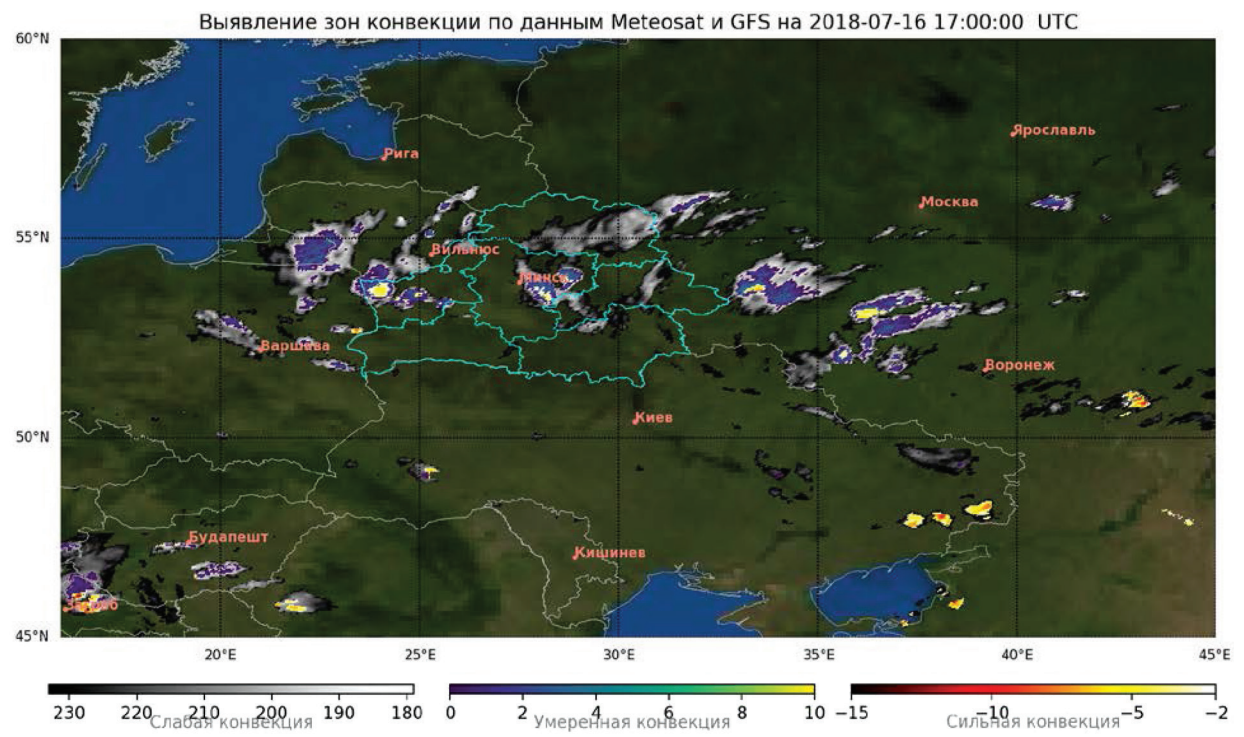
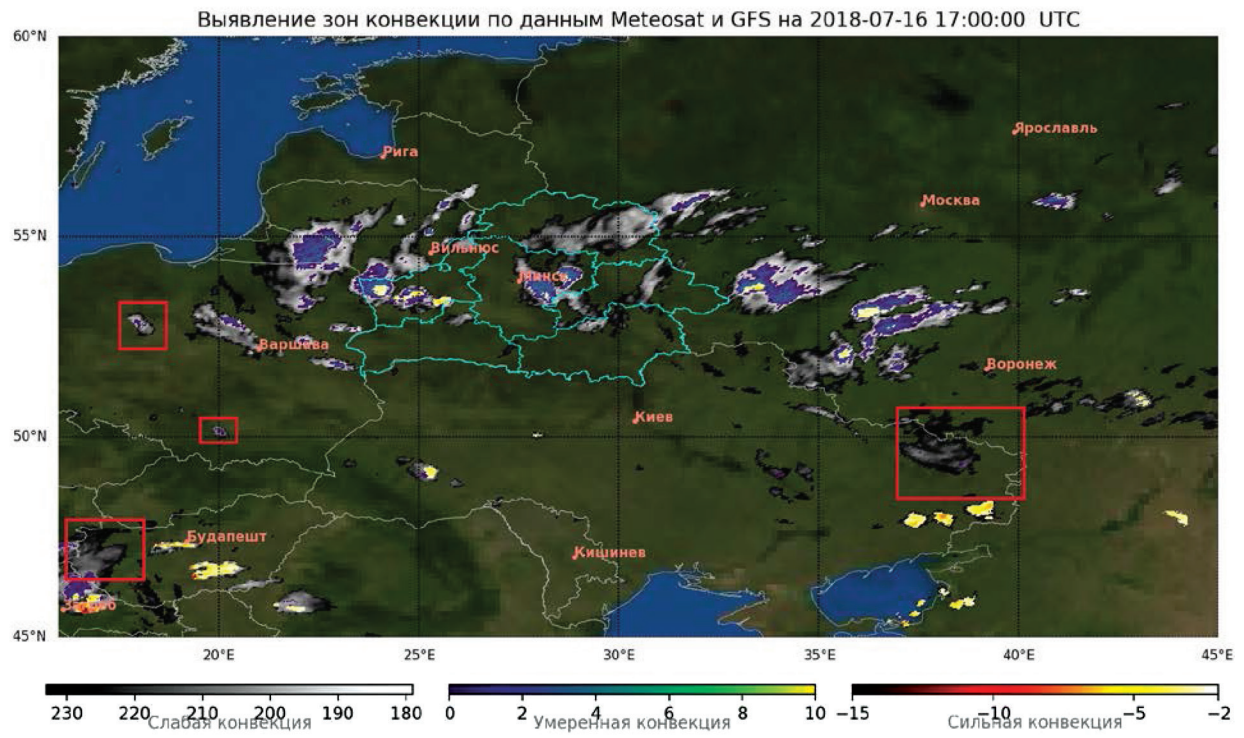


Рис. 10. Результаты работы алгоритма MSG\_Stratification на 16 июля 2018 г. 17:00 UTC без учета индекса плавучести (а) и с его учетом (б)

сти *LIFT*, рассчитанного по данным численной модели *GFS*. Для приведенных случаев внесенный в алгоритм индекс плавучести позволяет исключить ложные области слабой конвекции.

Для более детальной оценки качества алгоритма необходимо провести анализ большого числа случаев в течение нескольких конвективных сезонов с верификацией выходных данных по дистанционным и наземным данным об опасных явлениях.

В последующем потенциал алгоритма можно использовать для целей наукастинга за счет учета эволюции и динамики явления, а также привлечения данных моделей высокого пространственного разрешения, радиолокационных данных и данных метеостанций.

### Список использованных источников

1. Юсупов, Ю. И. Наукастинг в технологии ГИС Метео / Ю. И. Юсупов // МЕТЕОСПЕКТР. – 2015. – № 1. – С. 43–49.
2. Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО [Электронный ресурс] // World meteorological organization. — Режим доступа: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4248](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4248). – Дата доступа: 03.11.2018.
3. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды / под ред. С. Л. Белоусова, А. А. Васильева, Н. Ф. Вельтищева и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – Ч. 1. – 704 с.
4. Логинов, В. Ф. Изменение числа дней с грозами на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование. Сб. науч. тр. – 2006. – Вып. 12. – С. 33–40.
5. Хромов, С. П. Метеорологический словарь / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
6. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. – Минск. – 2010. – 128 с.
7. European Severe Weather Database [Electronic resource] // European Severe Storms Laboratory. – Режим доступа: <http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>. – Date of access: 21.10.2018.
8. NWC SAF Convection products. [Electronic resource] // Nowcasting SAF. – Режим доступа: [http://wsn16.hk/doc/presentation/25Jul2016/M3/\[M3\]M3\\_NWC SAF Convection Products.pdf](http://wsn16.hk/doc/presentation/25Jul2016/M3/[M3]M3_NWC SAF Convection Products.pdf) – Date of access: 04.11.2018.
9. METCAP+ : IMPORTANCE OF ANALYSING OBSERVATIONS, SATELLITE DATA, SAF PRODUCTS, NUMERICAL WEATHER FORECASTS ON THE SAME SCREEN [Electronic resource]. – Режим доступа: [https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-109\\_TECO-2012/Session5/P5\\_05\\_Dokuyucu\\_METCAP\\_plus.pdf/](https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-109_TECO-2012/Session5/P5_05_Dokuyucu_METCAP_plus.pdf/) – Date of access: 04.11.2018.
10. Divergence. [Electronic resource] // Eumetrain. – Режим доступа: <http://www.eumetrain.org/satmanu/Basic/Parameters/navmenu.php?page=2.0.0> – Date of access: 04.11.2018.
11. NEFODINA: A TOOL FOR AUTOMATIC DETECTION OF SEVERE CONVECTIVE PHENOMENA [Electronic resource] // Meteoam. – Режим доступа: <http://www.meteoam.it/sites/all/files/nefodina.pdf> – Date of access: 04.11.2018.
12. A method for convective storm detection using satellite data / C. Pinta da Silva Neto et al. – *Atmósfera*. 2016. – Vol. 29. – № 4. – P. 343–358.
13. EUMETSAT [Electronic resource] // Eoportal. – Режим доступа: <https://eoportal.eumetsat.int/userMgmt/login.faces> – Date of access: 04.11.2018.
14. Meteoinfo.by [Электронный ресурс] // Белорусский сервер погоды. – Режим доступа: <http://meteoinfo.by/radar/?q=UMMN/> – Дата доступа: 13.07.2018.
15. Ncep Central Operations [Electronic resource] // Nomads. – Режим доступа: <http://nomads.ncep.noaa.gov/> – Date of access: 13.07.2018.