

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-4-112-129>  
УДК 551.509.327:551.515.3

## **Анализ условий возникновения вспышки смерчей над Черным морем 16 июля 2019 года и оценка успешности прогноза**

***О.В. Калмыкова<sup>1</sup>, В.В. Федорова<sup>2</sup>, Р.О. Фадеев<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Научно-производственное объединение «Тайфун»,  
Калужская область, г. Обнинск, Россия;*

*<sup>2</sup>Специализированный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей  
среды Черного и Азовского морей, г. Сочи, Россия  
kov@feerc.ru*

Представлен анализ синоптической ситуации, способствовавшей возникновению вспышки смерчей над Черным морем 16 июля 2019 г. Установлено, что в рассматриваемый день Черноморский регион находился под влиянием мезоциклона и фронта с волновыми возмущениями. В динамике описаны характеристики материнского облака смерча вблизи п. Лазаревское, который в отличие от остальных разрушился не над морем, а на незначительном удалении от береговой черты, вызвав шквалистое усиление ветра. Показано, что облако по своим радиолокационным характеристикам не отличалось от несмерчеобразующих облаков, возникших в тот день вблизи побережья. Отмечено, что на рассматриваемый день давался прогноз крайне высокой опасности появления смерчей вблизи всего побережья Краснодарского края, что указывало на возможность вспышки смерчей.

Обсуждается оценка успешности прогноза смерчей на базе разработанной в НПО «Тайфун» автоматизированной технологии оценки смерчеопасности.

*Ключевые слова:* водяной смерч, смерчеопасная ситуация, прогноз, синоптическая ситуация, материнское облако, радиолокационная информация, спутниковые данные, технология оценки смерчеопасности, распознавание смерчеопасных облаков

## **Analysis of occurrence conditions of the waterspouts outbreak over the Black Sea on July 16, 2019 and forecast skill assessment**

***O.V. Kalmykova<sup>1</sup>, V.V. Fedorova<sup>2</sup>, R.O. Fadeev<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Research and Production Association «Typhoon», Obninsk, Russia;*

*<sup>2</sup>Specialized Centre for Hydrometeorology and Environmental Monitoring  
of the Black and Azov Seas, Sochi, Russia;  
kov@feerc.ru*

The article presents the results of analyzing synoptic conditions that lead to the waterspouts outbreak over the Black Sea on July 16, 2019. It is found that during the analyzed day, the Black Sea region was influenced by the mesocyclone and the atmospheric front with wave perturbations. The dynamics of characteristics of the waterspout parent

cloud formed near Lazarevskoe are described, which, unlike the others, dissipated not over the sea but off the coastal line and induced the squall. It is shown based on weather radar data that the cloud did not differ from the non-waterspout clouds formed on that day near the coast. It is noted that the forecast of an extremely high risk of waterspouts off the entire coast of the Krasnodar krai was issued for the analyzed day, which indicated a possibility of the waterspouts outbreak.

The assessment of the waterspout forecast skill using the automated technology for the waterspout risk estimation developed at Research and Production Association "Typhoon" is discussed.

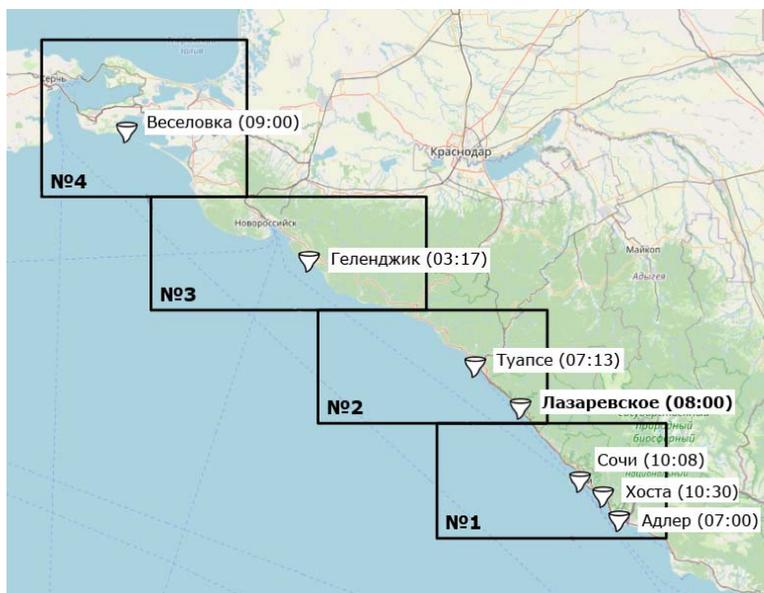
*Keywords:* waterspout, waterspout risk situation, forecast, synoptic conditions, parent cloud, weather radar data, satellite data, technology for the waterspout risk estimation, identification of waterspout-risk clouds

## Введение

Как известно, смерчи над Черным морем – довольно распространенное явление, возникающее в подавляющем большинстве случаев в теплый период года (с мая по октябрь). По современным оценкам, вблизи Черноморского побережья России ежегодно регистрируются порядка 40 смерчей, нередко при этом и так называемые вспышки их возникновения [4]. Термин «вспышка смерчей» (англ. waterspouts outbreak) используется для обозначения случаев их массового появления (более трех) в один и тот же день. В 2019 г. подобная вспышка отмечалась 16 июля. В этот день циклоническая деятельность над востоком Черного моря и прохождение атмосферного фронта вызвали комплекс неблагоприятных и опасных явлений погоды, в том числе смерчи, которые регистрировались на участке от п. Веселовка до Адлерского района г. Сочи. Всего за этот день по имеющимся данным, собранным на основании сообщений очевидцев и официальных донесений, отмечалось семь смерчей (рис. 1). Из них заслуживает отдельного упоминания смерч, возникший вблизи п. Лазаревское [2]. Этот смерч сформировался примерно в 11 ч по местному времени (08 ч ВСВ) в море на некотором расстоянии от побережья и спустя какое-то время стал стремительно двигаться к берегу. По информации пресс-службы ГУ МЧС России по Краснодарскому краю, в 11 ч 20 мин сильным порывом ветра, вызванным разрушением смерча при подходе к берегу, с пляжного кафе сорвало конструкцию из металлопрофиля, которая упала на контактную группу железнодорожной сети [1]. К счастью, сведений о пострадавших не поступало.

В статье приведены результаты анализа синоптической ситуации, способствовавшей возникновению рассматриваемой вспышки смерчей, проанализированы характеристики материнского облака смерча вблизи п. Лазаревское, которые были получены по данным оперативных спутниковых и радиолокационных наблюдений, а также представлены результаты работы разработанной в НПО «Тайфун» автоматизированной технологии оценки смерчопасности вблизи Черноморского побережья

Краснодарского края и Республики Крым на рассматриваемый день регистрации вспышки смерчей. Указанный случай приходился на период проведения независимых испытаний данной технологии в специализированных прогностических центрах Росгидромета.



**Рис. 1.** Положение смерчей, зарегистрированных 16 июля 2019 г. (в скобках указано время регистрации по ВСВ, прямоугольниками обозначены участки побережья).

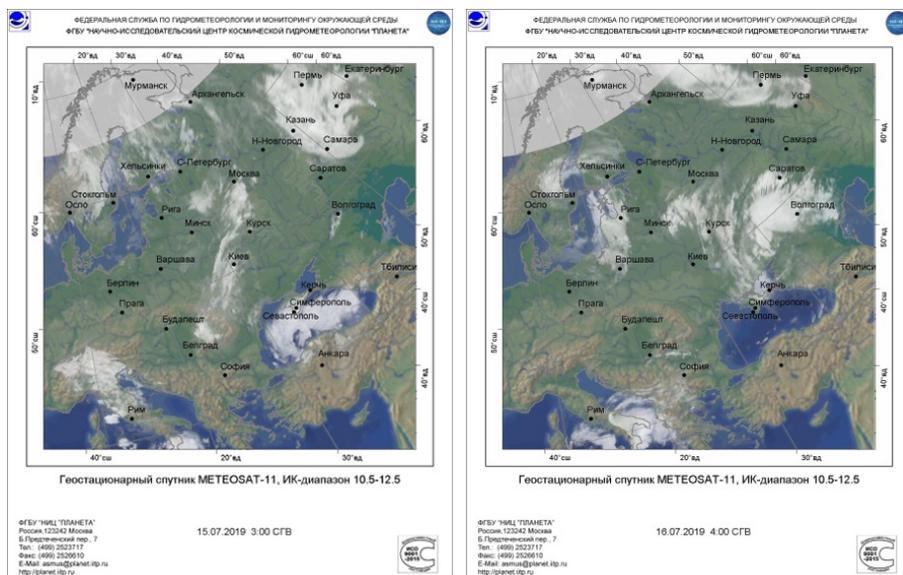
**Fig. 1.** Location of waterspouts registered July 16, 2019 (in brackets is indicated time of registration by UTC, the rectangles indicate the coastal areas).

## 1. Анализ условий возникновения смерчей

Синоптическая ситуация над Черноморским регионом, при которой наблюдалась вспышка смерчей, складывалась следующим образом. Накануне, 15 июля 2019 г., циклон с юго-запада Черного моря смещался в северо-восточном направлении со скоростью 35–40 км/ч, и к утру 16 июля 2019 г. его центр был уже над Харьковской областью Украины. Движение циклона хорошо иллюстрируют снимки с геостационарного спутника Meteosat-11, предоставленные ФГБУ «НИЦ «Планета» (рис. 2).

Циклон начал заполняться, продолжая медленно смещаться в северо-восточном направлении. По его тыловой части на акваторию Черного моря осуществлялся заток холодного воздуха. Связанная с циклоном окклюдирующая система полярного фронта днем 15 июля проходила над Черноморским побережьем Кавказа, вызвав понижение температуры

воздуха у земли на 3–4 °С и умеренные ливневые дожди интенсивностью до 5 мм/ч. При этом грозовая деятельность наблюдалась только на территории Республики Абхазия.

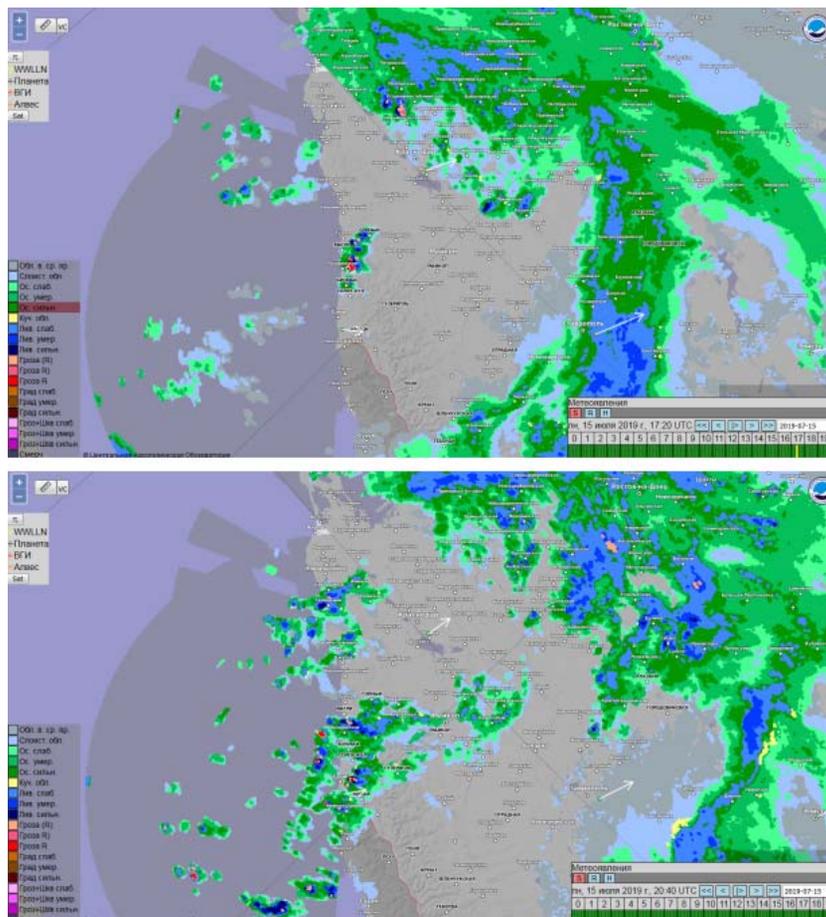


**Рис. 2.** Снимки с геостационарного спутника Meteosat-11 за сроки 03 ч ВСВ 15.07.2019 г. (слева) и 04 ч ВСВ 16.07.2019 г. (справа).  
**Fig. 2.** Meteosat-11 images for 03 h UTC July 15, 2019 (left) and 04 h UTC July 16, 2019 (right).

Вечером 15 июля около 17 ч ВСВ к Черноморскому побережью на участке Туапсе – Адлер приблизился вторичный холодный фронт, хорошо прослеживавшийся на картах радарной информации ДМРЛ Ахун, предоставленных ФГБУ «ЦАО», в виде облачной полосы длиной 250–270 км и шириной 30 км, ориентированной с юго-запада на северо-восток (рис. 3). Фронт первоначально смещался в северо-восточном направлении со скоростью 20–25 км/ч.

В средней тропосфере обширная высотная ложбина располагалась над Восточной Европой, ее меридионально ориентированная ось находилась над центральной частью Черного моря. Фронт оказался в параллельных потоках передней части ложбины, стал малоподвижным, а формирующиеся волны быстро смещались по ведущему потоку вдоль линии фронта.

Продолжающееся поступление более холодного воздуха на акваторию Черного моря способствовало увеличению контраста температуры в зоне подошедшего фронта, вследствие чего он принял значение основного фронта.



**Рис. 3.** Карты метеоявлений за сроки 17 ч 20 мин ВСВ (сверху) и 20 ч 40 мин ВСВ 15.07.2019 г. (снизу).

**Fig. 3.** Weather events map for 17 h 20 min UTC (top) and 20 h 40 min UTC July 15, 2019 (down).

Вынужденные восходящие потоки, возникшие при приближении фронта к Кавказскому хребту, привели к активизации конвективных процессов в зоне фронта, а также к уменьшению скорости его движения. В процессе огибания горных хребтов на фронте начали возникать волновые возмущения. Значительный вертикальный контраст температуры над морем в нижнем полуторакилометровом слое (температура морской воды составляла  $+24^{\circ}\text{C}$ , а температура воздуха на уровне 850 гПа  $+11^{\circ}\text{C}$ ) способствовал увеличению степени неустойчивости воздушной массы. Воздушная масса в зоне фронта была очень влажной. По данным радиозондирования в ближайшем аэрологическом пункте Туапсе, влагосодержание у земли составляло 11–13 г/кг, на уровне 850 гПа – 6–9 г/кг, на уровне

700 гПа – 4–5,5 г/кг. Суммарный дефицит точки росы на поверхностях 850, 700, 500 гПа в ночные часы составлял всего 5,5 °С.

В течение ночи и до второй половины дня 16 июля в зоне фронта постоянно возникали новые ячейки кучево-дождевых облаков с грозами и ливнями, верхняя граница облачности была в среднем 9–10 км. Из некоторых облаков впоследствии возникли смерчи, регистрировавшиеся на участке Туапсе-Адлер. Следует отметить, что обычно в июле–сентябре, в период наиболее активно протекающих конвективных процессов, при прохождении холодных атмосферных фронтов над прогретым морем формируется более мощная кучево-дождевая облачность вертикальной протяженностью 12–14 км. В рассматриваемом процессе этому препятствовали, возможно, наблюдавшиеся во всей толще тропосферы устойчивые потоки юго-западного направления со скоростью 40–60 км/ч в слое 3–5 км и до 100 км/ч на уровне 300 гПа.

Одновременно с прохождением фронта, над северо-востоком Черного моря сложившиеся благоприятные термодинамические условия способствовали формированию ночью 16 июля мезоциклона, который хорошо прослеживался на кольцевых картах (рис. 4). В течение дня 16 июля он, незначительно углубляясь, смещался над территорией Краснодарского края на северо-восток со скоростью 20 км/ч и к вечеру начал заполняться над югом Ростовской области. С мезоциклоном связаны смерчи, возникшие вблизи Веселовки и Геленджика.



Рис. 4. Кольцевая карта погоды за срок 00 ч ВСВ 16.07.2019 г.

Fig. 4. Surface weather chart for 00 h UTC July 16, 2019.

Таким образом, анализ сложившихся синоптических условий показал, что массовое формирование смерчей вблизи Черноморского побережья Кавказа происходило при прохождении фронта с волновыми возмущениями на южном участке российского побережья и мезоциклона, образовавшегося в районе Керченского пролива. Активности процессов способствовала значительная увлажненность и неустойчивость воздушной массы над северо-востоком Черного моря.

Следует отметить, что подобные синоптические ситуации над Черноморским побережьем Кавказа складываются часто как в теплое, так и в холодное полугодие, это обусловлено наличием теплого моря и близко расположенных к нему высоких Кавказских гор. Однако явной взаимосвязи между рассматриваемыми ситуациями и формированием смерчей, а тем более их массовым появлением над морем не наблюдается – не во всех таких ситуациях образуются смерчи. Что касается еще более узкой задачи выявления отличительных особенностей синоптических ситуаций со вспышками смерчей, то эту работу еще предстоит провести. В настоящий момент осуществляется сбор материала для исследований.

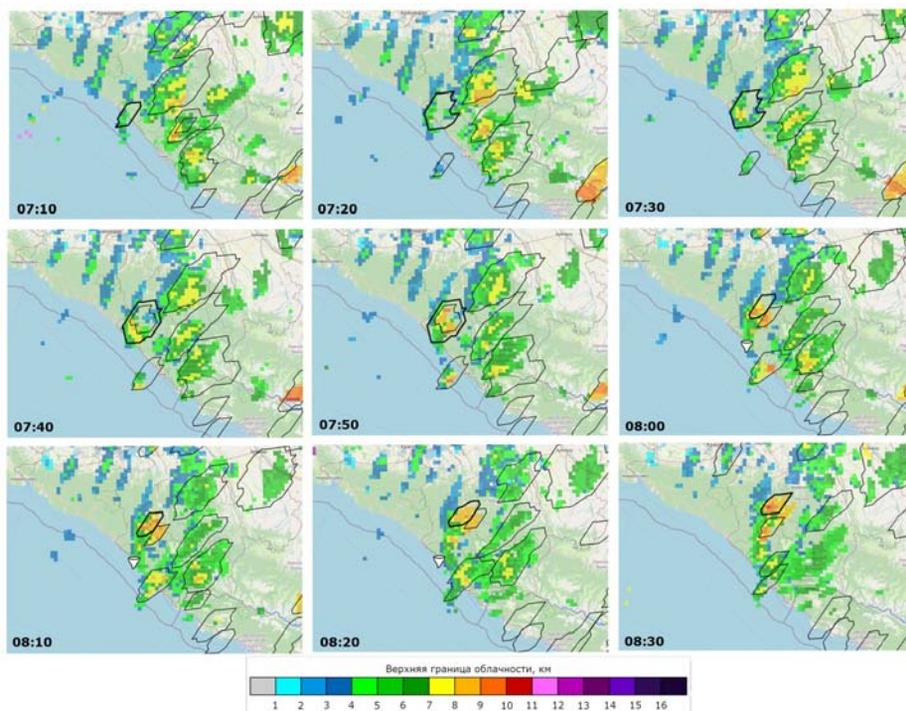
Проанализированная синоптическая ситуация 16 июля 2019 года не является показательной и с точки зрения опасности близкого приближения смерчей к берегу. По-видимому, в данном случае определяющую роль сыграли сложившиеся локальные условия, которые в рамках данной работы детально не рассматривались. Этому вопросу в будущем планируется посвятить отдельную работу.

В целом по результатам проведенного анализа каких-либо особенных, необычных условий в сложившейся 16.07.2019 г. синоптической ситуации обнаружено не было.

## **2. Характеристики материнского облака смерча вблизи п. Лазаревское**

Анализ радиолокационных данных показал, что облако, из которого сформировался смерч, разрушившийся впоследствии на незначительном удалении от береговой черты в п. Лазаревское, возникло в 07 ч 10 мин (здесь и далее все времена указаны по ВСВ). На рис. 5 показаны карты верхней границы облачности (ВГО) от момента появления облака и вплоть до 08 ч 30 мин, в этот период отмечались наиболее ярко выраженные изменения характеристик облака. Полигонами обозначены облачные ячейки, обнаруженные по результатам обработки спутниковых данных. Границы материнского облака смерча выделены жирной линией. Пиктограммой в форме воронки обозначено место его регистрации, которое было принято за фиксированную точку. Дальнейшее перемещение смерча вместе с материнским облаком не учитывалось. В момент своего появления облако имело небольшие размеры и было вытянуто в меридиональном направлении, его ВГО не превышала 6 км. С течением времени оно стало постепенно увеличиваться в размерах как по горизонтали, так

и по вертикали, перемещаясь при этом по направлению к берегу с нарастающей скоростью (с 9 до 14 м/с). В 07 ч 40 мин ВГО облака достигла значения 9 км, а со спутника впервые была выявлена его вершина – вышележащая область с более низкими значениями радиояростной температуры. Таким образом, облако находилось в стадии активного роста. Впоследствии, очевидно ввиду особенностей работы алгоритма обнаружения ячеек по спутниковым данным [6], облако идентифицировалось только в части его вершины, которая, как видно из рис. 5, постепенно сдвигалась на северо-восток. В 07 ч 50 мин на карте ВГО к югу от облака появился небольшой отросток, не сильно развитый по вертикали. В 08 ч 00 мин, по сообщениям очевидцев, из той части облака, где сформировался данный отросток, образовался смерч. В 08 ч 20 мин смерч близко подошел к берегу и начал распадаться. К 09 ч 10 мин ВГО облака уменьшилась до 6 км, после чего по спутниковым данным оно более не обнаруживалось. По радиолокационным картам ВГО, облако просуществовало до 10 ч, после чего полностью распалось.



**Рис. 5.** Верхняя граница облачности по радиолокационным данным с 07 ч 10 мин ВСУ по 08 ч 30 мин ВСУ 16 июля 2019 г. (пояснения в тексте).  
**Fig. 5.** Cloud Top Height by weather radar data from 07 h 10 min UTC to 08 h 30 min UTC July 16, 2019 (explanations in the text).

В [5] было показано, что в моменты возникновения смерчей радиояркая температура их материнского облака обычно достигает экстремального (наименьшего) значения за все время его жизни, что может быть использовано для уточнения времени появления смерчей. На рис. 6 показан график динамики минимальной радиояркой температуры в пределах границ материнского облака рассматриваемого смерча. Из графика видно, что до момента его регистрации отмечалось стремительное понижение температуры облака, после чего она стабилизировалась на уровне  $-35^{\circ}\text{C}$ . После 08 ч 40 мин температура стала повышаться. Таким образом, смерч возник в период, когда отмечалась наименьшая радиояркая температура облака, что согласуется с ранее выявленной особенностью температурных вариаций смерчеобразующих облаков.



**Рис. 6.** График динамики минимальной радиояркой температуры в пределах границ материнского облака смерча вблизи п. Лазаревское.

**Fig. 6.** Dynamics chart of minimum brightness temperature within borders of the waterspout parent cloud formed near Lazarevskoe.

### 3. Оценка успешности прогноза смерчей

В период с апреля по декабрь 2019 года в Северо-Кавказском управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СК УГМС) и в Специализированном центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей (СЦГМС ЧАМ) проводились независимые испытания автоматизированной технологии оценки смерчопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым. Основу работы технологии составляет

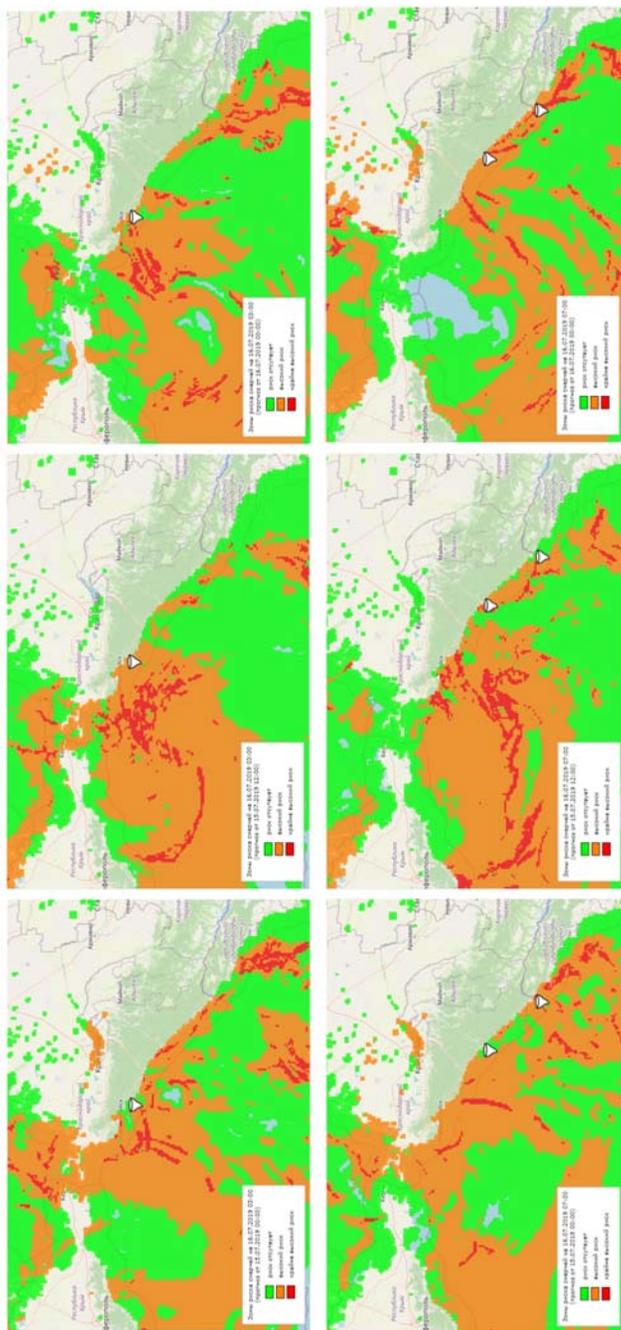
разработанная в НПО «Тайфун» методика оценки смерчеопасности. Методика включает в себя расчет смерчеопасных областей на базе выходной продукции модели COSMO-Ru2 и результатов объективного анализа температуры поверхности океана, формируемых центром NCEP/NOAA (США), распознавание смерчеопасных облаков в режиме реального времени по результатам комплексного анализа данных спутниковых и радиолокационных наблюдений, выявление смерчеопасных участков побережья с указанием прогнозируемого периода появления смерчей. На сегодняшний момент данная методика является единственной известной методикой прогноза смерчей в прибрежной акватории Черного моря. В оперативной практике СЦГМС ЧАМ и СК УГМС решение о выдаче штормовых предупреждений о смерчах принимается на основании экспертного заключения, полученного по результатам анализа данных от различных источников, главным образом синоптических карт.

Технология оценки смерчеопасности формирует информационную продукцию различного содержания: карты прогнозируемых зон риска смерчей на период до 42 ч (шаг по времени 1 ч, шаг по пространству 2,2 км), карты обновляются дважды в сутки по мере получения новых прогнозов по модели COSMO-Ru2; перечень смерчеопасных облаков, выявление осуществляется в режиме реального времени; журнал смерчеопасности различных участков прибрежной акватории, журнал заполняется по результатам анализа зон риска смерчей и уточняется дважды в сутки.

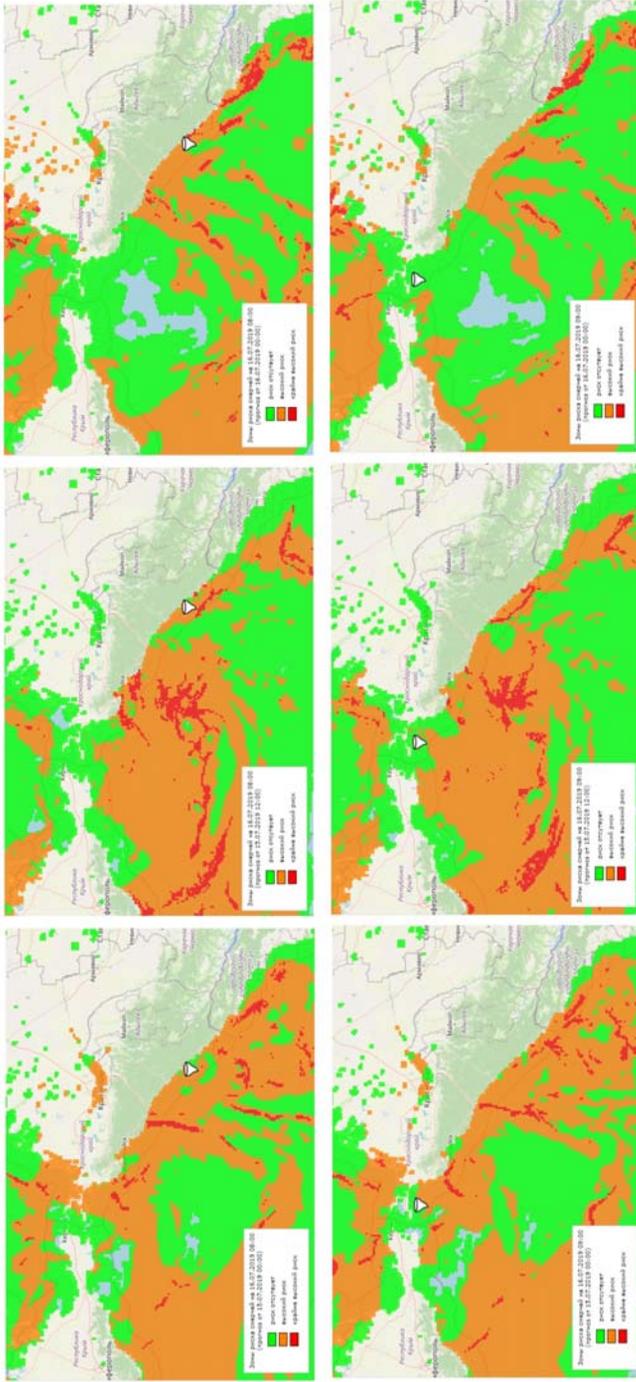
На рис. 7–9 показаны карты зон риска смерчей на 03, 07, 08, 09, 10 и 11 ч 16 июля 2019 г., когда отмечались реальные случаи их появления. Карты построены на базе прогнозов по модели COSMO-Ru2 различной заблаговременности счета. Окраска зон осуществляется в соответствии с прогнозируемой степенью риска образования смерчей: зеленая зона – риск отсутствует, оранжевая зона – высокий риск, красная зона – крайне высокий риск появления смерчей. На картах пиктограммами в форме белой воронки обозначены местоположения смерчей.

Из представленных карт видно, что все смерчи регистрировались в непосредственной близости от прогнозируемых красных зон крайне высокого риска их образования. Пространственная погрешность прогноза варьировалась от 5 до 55 км.

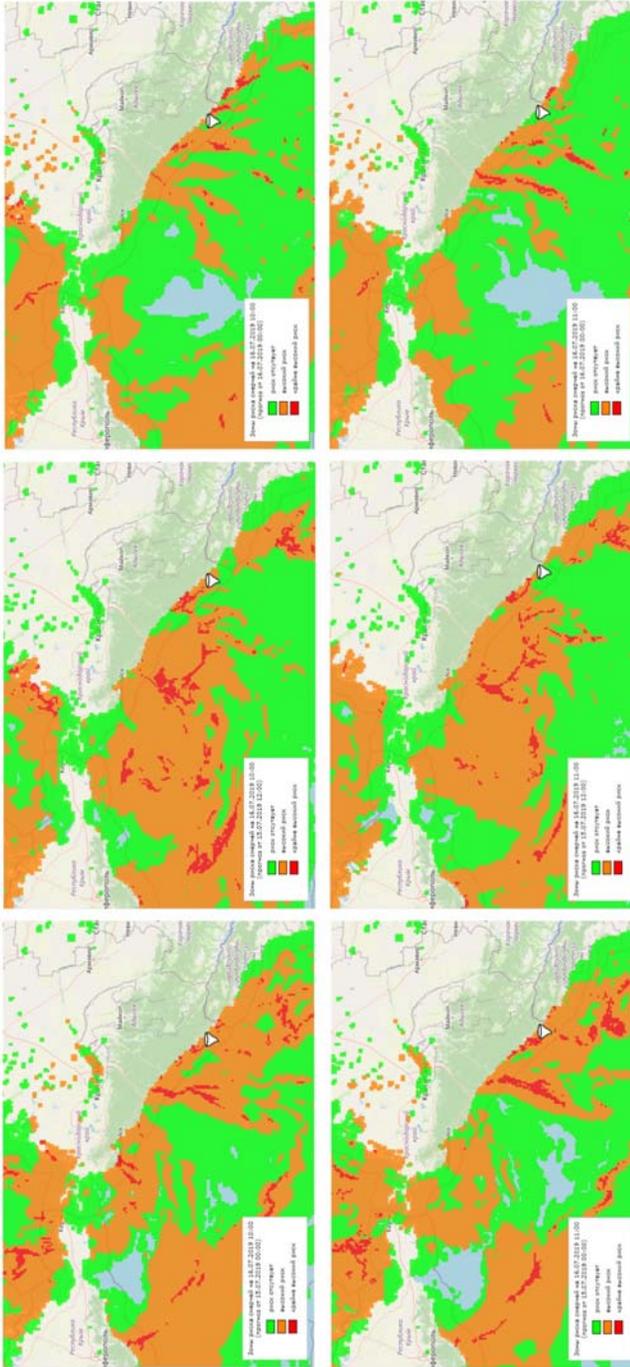
В таблице показан журнал смерчеопасности различных участков Черноморского побережья Краснодарского края на 15–17 июля 2019 г., который был сформирован в ходе работы технологии. В журнал заносятся периоды времени, в течение которых вблизи рассматриваемого участка прогнозируется опасность формирования смерчей. В теплый период года (с мая по октябрь) выделение смерчеопасных периодов осуществляется по результатам анализа рассчитанных зон крайне высокого риска образования смерчей, в более холодный период (с января по апрель и с ноября по декабрь) учитываются зоны как крайне высокого, так и высокого риска.



**Рис. 7.** Карты зон риска смерчей на 03 ч ВСВ и 07 ч ВСВ 16 июля 2019 г. (сверху вниз). Слева направо прогноз от 00 ч ВСВ 15 июля 2019 г., 12 ч ВСВ 15 июля 2019 г., 00 ч ВСВ 16 июля 2019 г.).  
**Fig. 7.** Maps of the waterspouts risk zones for 03 h UTC and 07 h UTC July 16, 2019 (top to down). Left to right forecast from 00 h UTC July 15, 2019; 12 h UTC July 15, 2019; 00 h UTC July 16, 2019).



**Рис. 8.** Карты зон риска смерчей на 08 ч ВСВ и 09 ч ВСВ 16 июля 2019 г. (сверху вниз). Слева направо прогноз от 00 ч ВСВ 15 июля 2019 г., 12 ч ВСВ 15 июля 2019 г., 00 ч ВСВ 16 июля 2019 г.  
**Fig. 8.** Maps of the waterspouts risk zones for 08 h UTC and 09 h UTC July 16, 2019 (top to down). Left to right forecast from 00 h UTC July 15, 2019; 12 h UTC July 15, 2019; 00 h UTC July 16, 2019.



**Рис. 9.** Карты зон риска смерчей на 10 ч ВСВ и 11 ч ВСВ 16 июля 2019 г. (сверху вниз).

Слева направо прогноз от 00 ч ВСВ 15 июля 2019 г., 12 ч ВСВ 15 июля 2019 г., 00 ч ВСВ 16 июля 2019 г.

**Fig. 9.** Maps of the waterspouts risk zones for 10 h UTC and 11 h UTC July 16, 2019 (top to down).

Left to right forecast from 00 h UTC July 15, 2019; 12 h UTC July 15, 2019; 00 h UTC July 16, 2019.

**Таблица.** Журнал смерчопасности различных участков Черноморского побережья Краснодарского края на 15–17 июля 2019 г.  
**Table.** Waterspouts risk journal for the different Black Sea coastal areas of the Krasnodar krai for July 15-17, 2019

№ участка	на 15 июля 2019 г.			на 16 июля 2019 г.			на 17 июля 2019 г.		
	начало счета	период	начало счета	период	начало счета	период	начало счета	период	
1	14.07.2019 00 ч	-	15.07.2019 00 ч	с 0 до 16 ч	16.07.2019 00 ч	-	16.07.2019 00 ч	-	
	14.07.2019 12 ч	-	15.07.2019 12 ч	с 0 до 14 ч с 21 до 23 ч	16.07.2019 12 ч	-	16.07.2019 12 ч	-	
	15.07.2019 00 ч	с 19 ч до конца дня	16.07.2019 00 ч	с 0 до 16 ч с 19 до 20 ч	17.07.2019 00 ч	-	17.07.2019 00 ч	-	
2	14.07.2019 00 ч	-	15.07.2019 00 ч	с 0 до 16 ч	16.07.2019 00 ч	-	16.07.2019 00 ч	-	
	14.07.2019 12 ч	-	15.07.2019 12 ч	с 2 до 19 ч	16.07.2019 12 ч	-	16.07.2019 12 ч	-	
	15.07.2019 00 ч	с 13 ч до конца дня	16.07.2019 00 ч	с 1 до 19 ч	17.07.2019 00 ч	-	17.07.2019 00 ч	-	
3	14.07.2019 00 ч	-	15.07.2019 00 ч	с 0 до 14 ч	16.07.2019 00 ч	-	16.07.2019 00 ч	-	
	14.07.2019 12 ч	с 21 ч до конца дня	15.07.2019 12 ч	с 0 до 19 ч	16.07.2019 12 ч	-	16.07.2019 12 ч	с 0 до 7 ч	
	15.07.2019 00 ч	-	16.07.2019 00 ч	с 0 до 9 ч	17.07.2019 00 ч	-	17.07.2019 00 ч	с 1 до 7 ч	
4	14.07.2019 00 ч	-	15.07.2019 00 ч	с 1 до 17 ч	16.07.2019 00 ч	-	16.07.2019 00 ч	с 2 до 6 ч	
	14.07.2019 12 ч	-	15.07.2019 12 ч	с 0 до 12 ч	16.07.2019 12 ч	-	16.07.2019 12 ч	с 2 до 7 ч	
	15.07.2019 00 ч	-	16.07.2019 00 ч	с 0 до 7 ч с 9 до 13 ч	17.07.2019 00 ч	-	17.07.2019 00 ч	-	

Указанный подход к разделению года на периоды обусловлен выявленными особенностями работы прогностических предикторов смерчей, используемых в методике оценки смерчеопасности [3]. Журнал смерчеопасности автоматизирует процесс анализа карт зон риска смерчей. В случае отсутствия в журнале записей об опасных участках побережья (т. е. когда смерчи не прогнозируются) отсутствует необходимость дополнительно просматривать соответствующие карты. Если же таковые записи в журнале имеются, то по ним синоптик может сориентироваться, на какой из участков следует обратить внимание, и при необходимости выдать по нему соответствующее предупреждение о смерчах.

Из таблицы видно, что на 16 июля 2019 г. по методике оценки смерчеопасности давался прогноз возможного появления смерчей вблизи всего побережья Краснодарского края, что указывало на высокую вероятность возникновения вспышки смерчей. В течение всего 2019 г. подобных прогнозов смерчеопасности по всем четырем участкам побережья более не отмечалось.

Прогнозируемая опасность массового образования смерчей оправдалась: смерчи регистрировали в пределах каждого из четырех рассматриваемых участков (см. рис. 1). Прогнозы смерчеопасности, рассчитанные на 16 июля 2019 г. на основании выходных данных модели COSMO-Ru2 различной заблаговременности счета, были достаточно хорошо согласованы по времени – опасность смерчей прогнозировалась с начала дня и вплоть до второй половины суток. Для сравнения прогнозы на день, предшествующий 16 июля 2019 г. и после него, давались на относительно короткий промежуток времени, примыкающий слева и справа к рассматриваемому дню. Кроме того, эти прогнозы не отличались хорошей согласованностью. Таким образом, по журналу смерчеопасности можно было достаточно точно идентифицировать день с крайне высокой опасностью массового появления смерчей.

Распознавание смерчеопасных облаков в методике оценки смерчеопасности осуществляется в режиме реального времени на основании эмпирического правила выявления областей с экстремальными значениями радиолокационной отражаемости ( $>40$  dBZ), высоты верхней границы облачности ( $>10$  км) и вертикально интегрированной водности ( $>1$  кг/м<sup>2</sup>) [3]. Одновременно с этим в соответствии с наиболее актуальным на рассматриваемый момент времени предварительно рассчитанным прогнозом смерчеопасности всем облачным ячейкам, обнаруженным по результатам обработки спутниковых данных, присваиваются классы опасности формирования из них смерчей. Ячейки с присвоенным классом крайне высокой опасности, в пределах которых выявляются смерчеопасные области по радиолокационным данным, заносятся в перечень смерчеопасных облаков. Указанный алгоритм распознавания используется только для теплого периода года.

Перечень смерчеопасных облаков на 16 июля 2019 г., сформированный по результатам работы технологии, включал в себя запись об одной ячейке, возникшей вблизи г. Туапсе в 08 ч 50 мин. Из этой ячейки, однако, смерчи так и не образовались. Таким образом, встроенный в методику оценки смерчеопасности алгоритм распознавания смерчеопасных облаков не смог выявить ни одной материнской ячейки реально отмечавшихся смерчей. Анализ радиолокационных характеристик этих ячеек показал, что причиной неэффективной работы алгоритма послужили относительно невысокие значения высоты ВГО и максимальной отражаемости смерчеобразующих облаков: ВГО не превышала 8 км, а отражаемость – 35 dBZ. При этом вертикально интегрированная водность облаков соответствовала критериям распознавания – была около  $2 \text{ кг/м}^2$ . Единственным исключением из указанного диапазона значений стало материнское облако смерча вблизи п. Лазаревское. Для него ВГО составила 9 км, отражаемость 40 dBZ, а вертикально интегрированная водность  $3 \text{ кг/м}^2$ . В целом же, судя по указанным характеристикам облаков, давших смерчи 16 июля 2019 г., отличить их от несмерчеобразующих не представлялось возможным – в течение рассматриваемого дня регистрировались облака со схожими характеристиками, но без смерчей. Тем не менее полученные результаты могут свидетельствовать и о необходимости доработки используемого алгоритма распознавания смерчеопасных облаков.

Успешное прогнозирование проанализированной в настоящей работе вспышки смерчей, а также других случаев их появления в 2019 г., дало основание для практического внедрения технологии оценки смерчеопасности в части способа расчета прогнозов смерчей. Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 18.09.2020 г. данная технология была внедрена в оперативную практику СК УГМС и СЦГМС ЧАМ в качестве консультативного метода прогноза смерчей.

### **Заключение**

В данной работе был проанализирован случай массового появления смерчей вблизи Черноморского побережья Краснодарского края 16 июля 2019 г. Установлено, что в рассматриваемый день Черноморский регион находился под влиянием двух синоптических образований: мезоциклона, возникшего в районе Керченского пролива и фронта с волновыми возмущениями на южном участке побережья. Основная масса смерчей, отмечавшихся 16 июля 2019 г., возникла на участке Туапсе-Адлер при прохождении фронта. Мезоциклон способствовал формированию двух смерчей вблизи Веселовки и Геленджика. Каких-либо отличительных особенностей, которые могли бы указывать на возможное образование смерчей в сложившихся условиях, тем не менее выявлено не было.

Из семи отмечавшихся смерчей особо выделялся один смерч, возникший вблизи п. Лазаревское. Он стремительно двигался к берегу

и разрушился в непосредственной близости от него, вызвав шквалистое усиление ветра. Его материнское облако имело небольшую вертикальную протяженность и ярко выраженную меридиональную ориентацию. По своим характеристикам оно не отличалось от других облаков без смерчей, которые возникали в этот день вблизи побережья. В момент формирования смерча минимальная радиояркостьная температура облака достигала значений в  $-35^{\circ}\text{C}$ .

По технологии оценки смерчопасности, которая проходила независимые испытания в 2019 г., на рассматриваемый день 16 июля по всему побережью прогнозировался крайне высокий риск образования смерчей. На предыдущий и последующие дни риск оценивался как минимальный. Таким образом, данная технология позволила точно и с большой заблаговременностью (около суток) выделить день, в течение которого следует ожидать массового появления смерчей над морем. Подобных прогнозов с большим охватом смерчопасных участков побережья в 2019 году более не отмечалось.

Разработанная методика оценки смерчопасности продемонстрировала широкие возможности своего применения по прогнозированию как единичных случаев образования смерчей, так и вспышки их появления. По результатам испытаний ЦМКП Росгидромета дала рекомендации о внедрении соответствующей технологии оценки смерчопасности в части расчета прогнозов смерчей в оперативную практику региональных прогностических центров.

Встроенный в работу технологии алгоритм распознавания смерчопасных облаков не смог выделить ни одно из материнских облаков отмечавшихся смерчей. Причиной тому отчасти послужили обычно не свойственные смерчеобразующим облакам невысокие значения их радиолокационных характеристик. Смерчеобразующие облака и облака без смерчей в рассматриваемый день имели схожие характеристики, и разграничить их было невозможно.

### Список литературы

1. В Сочи сорванная ветром крыша кафе упала на провода над железной дорогой. 2019. <https://tass.ru/proisshestviya/6668592>
2. Водяной смерч разнес прибрежную зону в Сочи. 2019. [https://tvzvezda.ru/news/vstrane\\_i\\_mire/content/20197161747-chOjG.html](https://tvzvezda.ru/news/vstrane_i_mire/content/20197161747-chOjG.html)
3. *Калмыкова О.В., Шершаков В.М., Новицкий М.А., Шмерлин Б.Я.* Автоматизированный прогноз смерчей у Черноморского побережья России: первый опыт и оценка его результативности // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 11. С. 84–94.
4. *Калмыкова О.В.* Оценка смерчопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Обнинск: НПО «Тайфун», 2019. 30 с.
5. *Калмыкова О.В.* Характеристики смерчевых облаков над Черным морем по спутниковым данным за период 2014–2016 гг. // *Закономерности формирова-*

ния и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов («Опасные явления»): Материалы международной научной конференции, Ростов-на-Дону, 13-23 июня 2019 г. С. 58-61.

6. Algorithm Theoretical Basis Document for Rapid Development Thunderstorms. 2013. [http://www.nwcsaf.org/AemetWebContents/ScientificDocumentation/Documentation/MSG/SAF-NWC-CDOP2-MFT-SCI-ATBD-11\\_v3.0.pdf](http://www.nwcsaf.org/AemetWebContents/ScientificDocumentation/Documentation/MSG/SAF-NWC-CDOP2-MFT-SCI-ATBD-11_v3.0.pdf)

## References

1. V Sochi sorvannaya vetrom krysha kafe upala na provoda nad zheleznoj dorogoj [In Sochi the roof of cafe picked by the wind fallen on the wires above the railway]. 2019. Available at: <https://tass.ru/proisshestviya/6668592> [in Russ.].

2. Vodyanoj smerch raznes pribrezhnyuyu zonu v Sochi [Waterspout destroyed the coastal zone in Sochi]. 2019. Available at: [https://tvzvezda.ru/news/vstrane\\_i\\_mire/content/20197161747-chOjG.html](https://tvzvezda.ru/news/vstrane_i_mire/content/20197161747-chOjG.html) [in Russ.].

3. Kalmykova O.V., Shershakov V.M., Novitskii M.A., Shmerlin B.Y. Automated Forecasting of Waterspouts off the Black Sea Coast of Russia and its Performance Assessment. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2019, vol. 44, no. 11, pp. 764-771. DOI: 10.3103/S1068373919110062

4. Kalmykova O.V. Ocenka smercheopasnosti vblizi Chernomorskogo poberezh'ya Krasnodarskogo kraja i Respubliki Krym [Waterspout risk assessment near the Black Sea coastal area of the Krasnodar krai and Republic of Crimea]. Extended Abstract of dissertation of the Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Obninsk: Research and Production Association "Typhoon", 2019, 30 p. [in Russ.].

5. Kalmykova O.V. Harakteristiki smerchevyh oblakov nad Chernym morem po sputnikovym dannym za period 2014-2016 gg. [Characteristics of waterspout parent clouds over the Black Sea by satellite data for the period 2014-2016]. *Proceedings of the International Scientific Conference "Regularities of formation and impact of marine and atmospheric hazardous phenomena and disasters on the coastal zone of the Russian Federation under the conditions of global climatic and industrial challenges ("Dangerous phenomena")"*. Rostov-on-Don, 2019, pp. 58-61. [in Russ.].

6. Algorithm Theoretical Basis Document for Rapid Development Thunderstorms. 2013. Available at: [http://www.nwcsaf.org/AemetWebContents/ScientificDocumentation/Documentation/MSG/SAF-NWC-CDOP2-MFT-SCI-ATBD-11\\_v3.0.pdf](http://www.nwcsaf.org/AemetWebContents/ScientificDocumentation/Documentation/MSG/SAF-NWC-CDOP2-MFT-SCI-ATBD-11_v3.0.pdf).

*Поступила 14.12.2020; одобрена после рецензирования 02.03.2021;  
принята в печать 23.03.2021.*

*Submitted 14.12.2020; approved after reviewing 02.03.2021;  
accepted for publication 23.03.2021.*