

**Результаты независимых испытаний
автоматизированной технологии
оценки смерчопасности вблизи
Черноморского побережья
Краснодарского края и Республики
Крым и перспективы ее развития**

*Калмыкова О.В.¹, Шершаков В.М.¹, Калюжная Н.В.²,
Федорова В.В.³, Фадеев Р.О.³*

ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск

² ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС», г. Ростов-на-Дону

³ ФГБУ «СЦГМС ЧАМ», г. Сочи

Технология оценки смерчеопасности

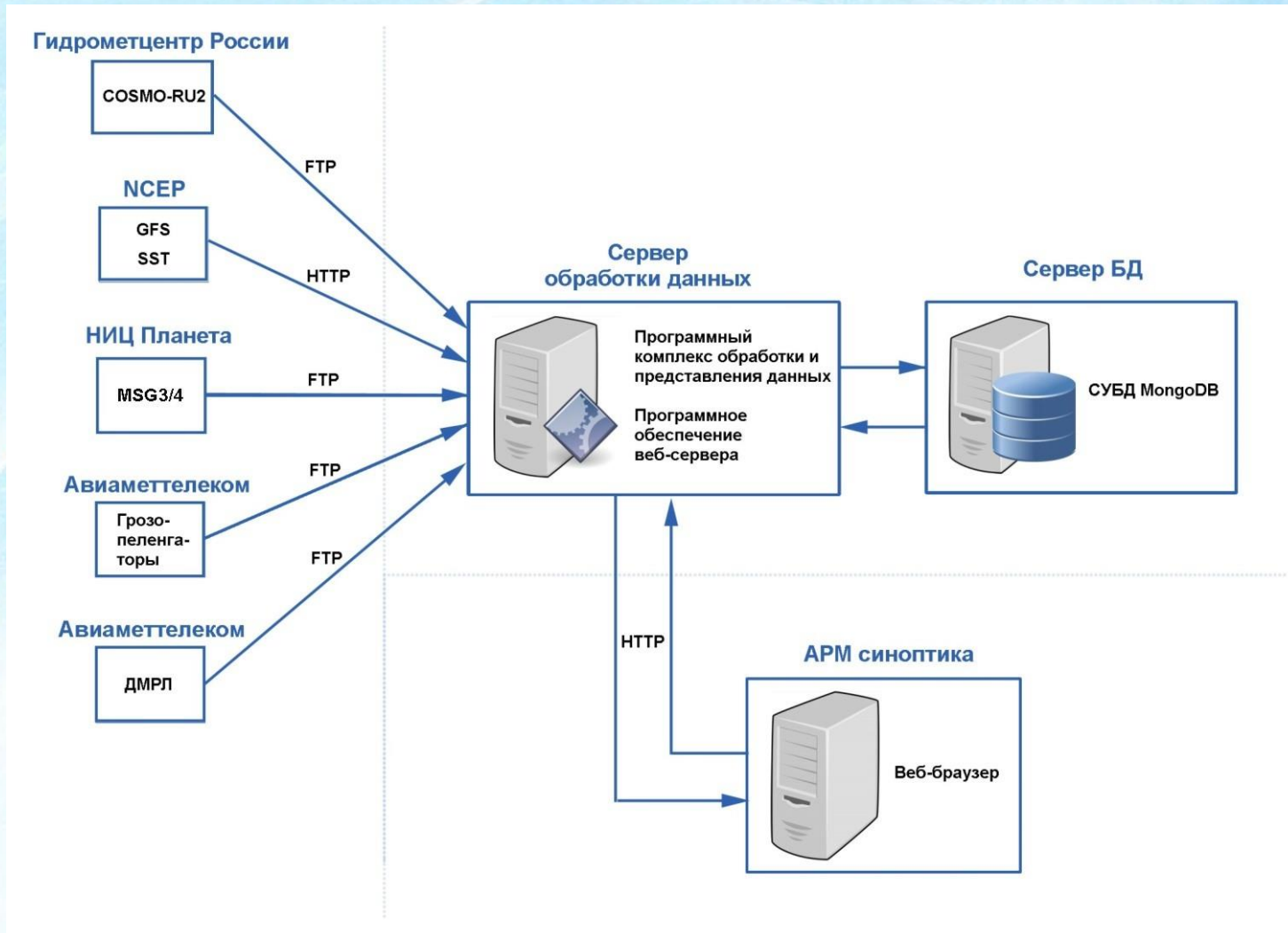
Технология разработана в рамках выполнения темы 1.1.1.1 НИОКР Росгидромета в 2017-2019 гг.

Технология обеспечивает проведение расчетов по разработанной в НПО «Тайфун» методике оценки смерчеопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым.

Технология формирует 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-Ru; 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.

Испытания технологии проводились с 1 апреля по 31 декабря 2019 г. в СЦГМС ЧАМ и Северо-Кавказском УГМС во исполнение Плана испытаний Росгидромета на 2019 г.

Схема работы технологии



Веб-интерфейс технологии

Мониторинг смерчеопасных ситуаций российской акватории Черного моря

Режим отображения данных

Архив **Реальное время** Прогноз

Модель COSMO-RU2	прогноз	от 17.01.2020 00:00	
		на 17.01.2020 21:00	
Спутниковые данные		17.01.2020 20:45	
Грозопеленгаторы	с -		
	по -		
Радиолокационные данные		17.01.2020 20:50	

Обновить все

Слои данных

- Модель COSMO-RU2 (Немезоциклонные смерчи)
- Спутниковые данные
- Грозопеленгаторы
- Радиолокационные данные (Максимальная отражаемость)

Предупреждения

с 17.01.2020

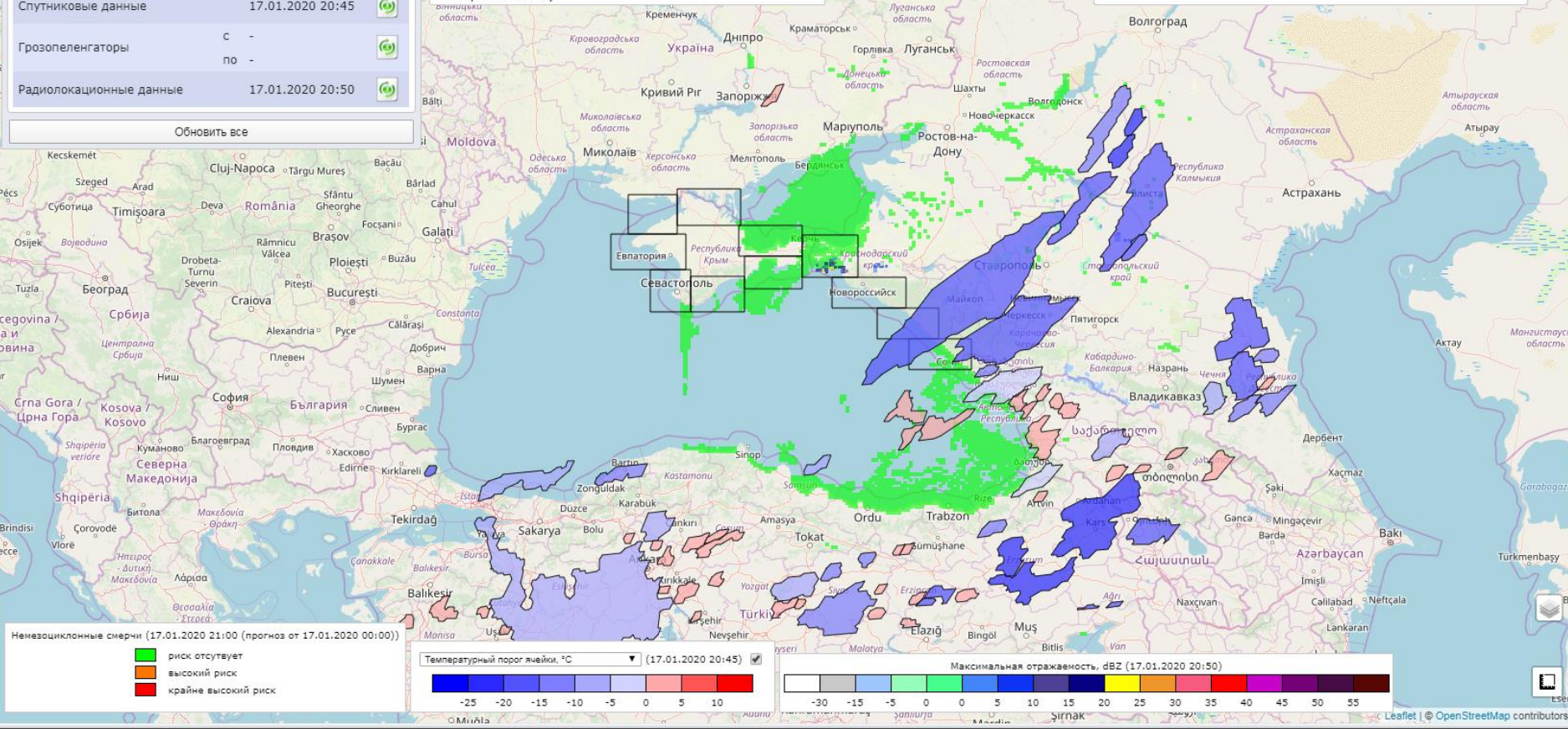
по 18.01.2020

- Н
- М
- единичные превышения

По областям

По ячейкам

По ДМРЛ



Методика оценки смерчеопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым

- Определение смерчеопасных областей (зон риска смерчей) на базе полей индексов конвективной неустойчивости, рассчитываемых с использованием прогнозов по модели COSMO-Ru Гидрометцентра России и результатов объективного анализа температуры поверхности океана, формируемых центром NCEP/NOAA (США).
- Классификация облаков по степени риска формирования из них смерчей с использованием спутниковых и радиолокационных данных (данный этап методики не проходил испытания в 2019 г.).
- Формирование журнала смерчеопасности различных участков прибрежной акватории Черного моря.

Прогностические индексы

Региональный индекс смерчопасности WRI (Waterspout Risk Index) – показывает хорошее качество прогноза в теплый смерчопасный период (май – октябрь), когда смерчи связаны с облаками большой вертикальной протяженности, вне сезона смерчей дает пропуски.

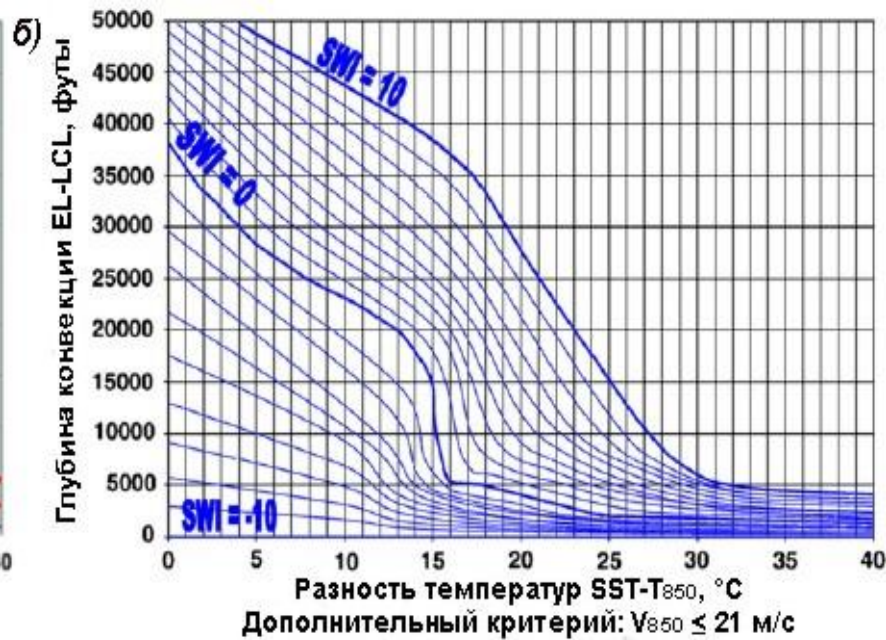
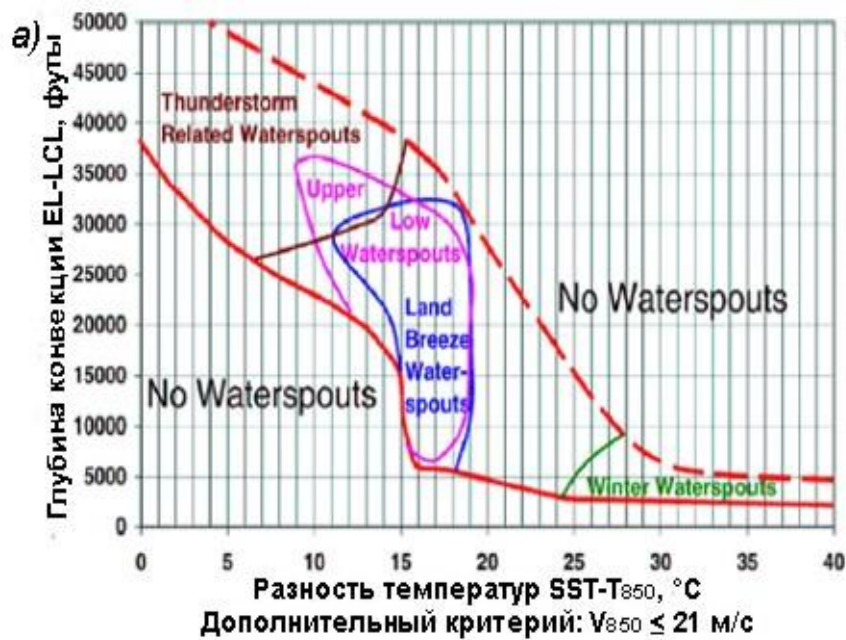
$$WRI = \frac{1}{6} * [(DT_1 \geq 8) + (DD_{10} \geq 3.3) + (RH_1 \geq 80.7) + (CD \geq 7.6) + (DU_1 \leq 2.5) + (S_1 \leq 6.3)]$$

- DT_1 – разность температур поверхности моря и воздуха на уровне 1 км, °C
- DD_{10} – потенциал вертикальной завихренности на уровне 10 м, °/км
- RH_1 – относительная влажность воздуха, осредненная в слое 0–1 км, %
- CD – глубина конвекции, км

- DU_1 – абсолютное значение разности скоростей ветра на уровнях 10 м и 1 км, м/с
- S_1 – сдвиг ветра, осредненный в слое 0–1 км, м/(с·км)

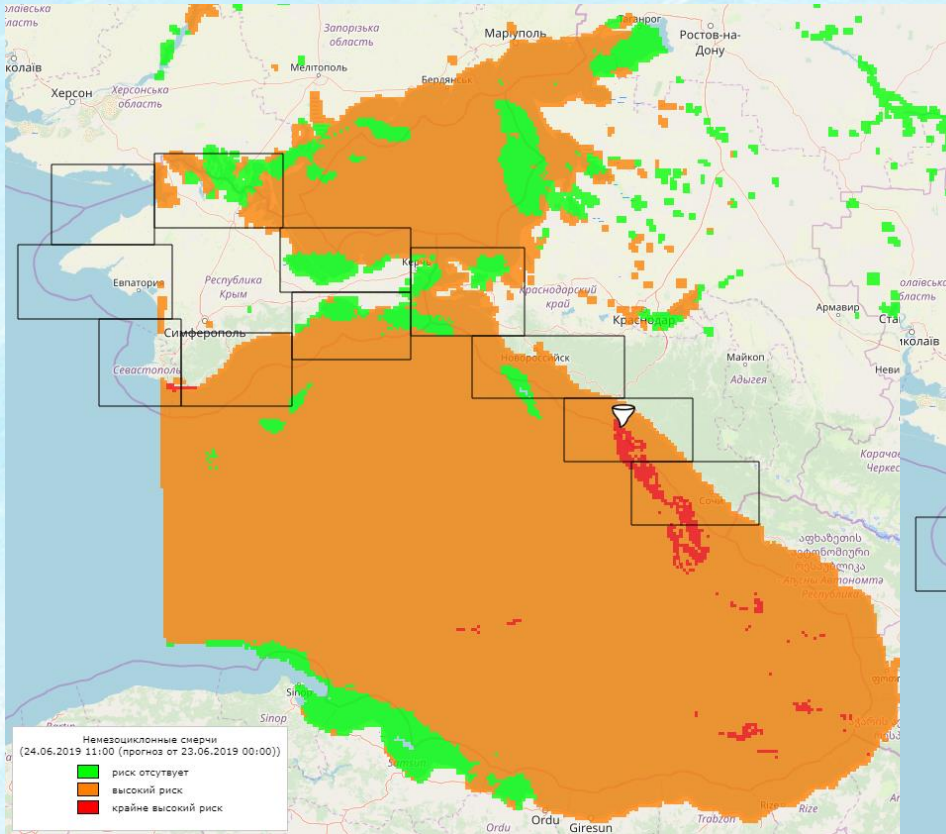
Прогностические индексы

Номограмма Силады (Szilagyi Waterspout Nomogram) – в сезон смерчей дает большое количество ложных тревог, в более холодный и значительно менее смерчопасный период (январь – апрель, ноябрь – декабрь) хорошо прогнозирует смерчи, возникающие из недостаточно развитых по вертикали облаков.



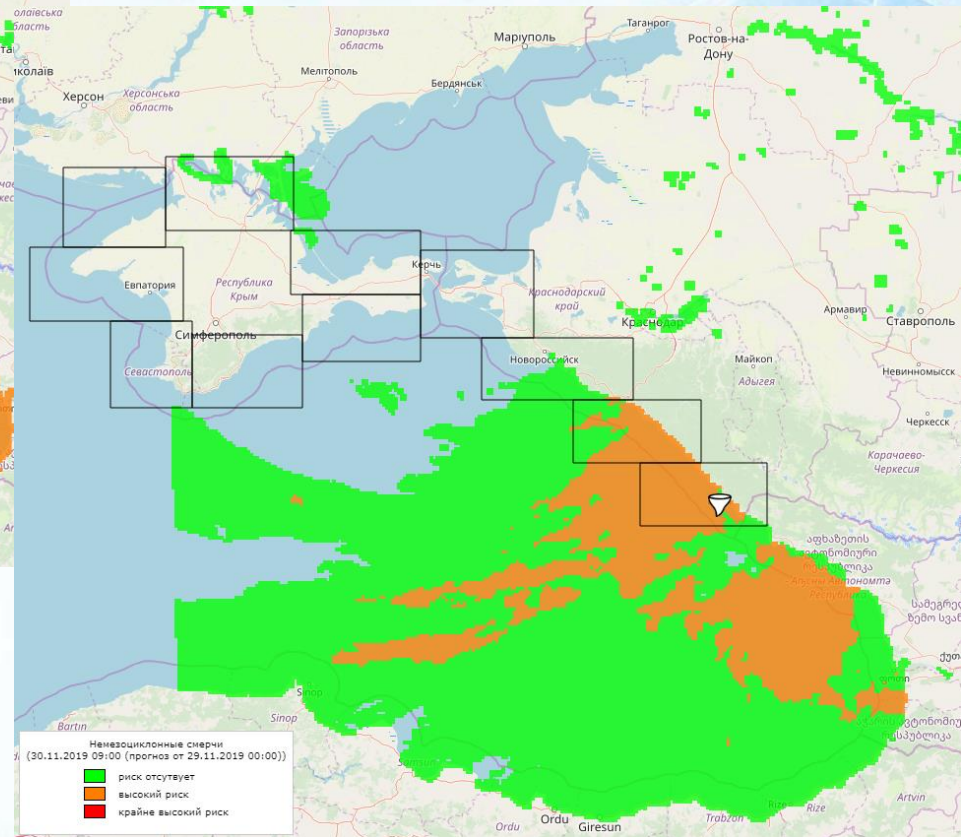
Зоны риска смерчей

Смерч п. Лермонтово 24.06.2019 11:05



Теплый период

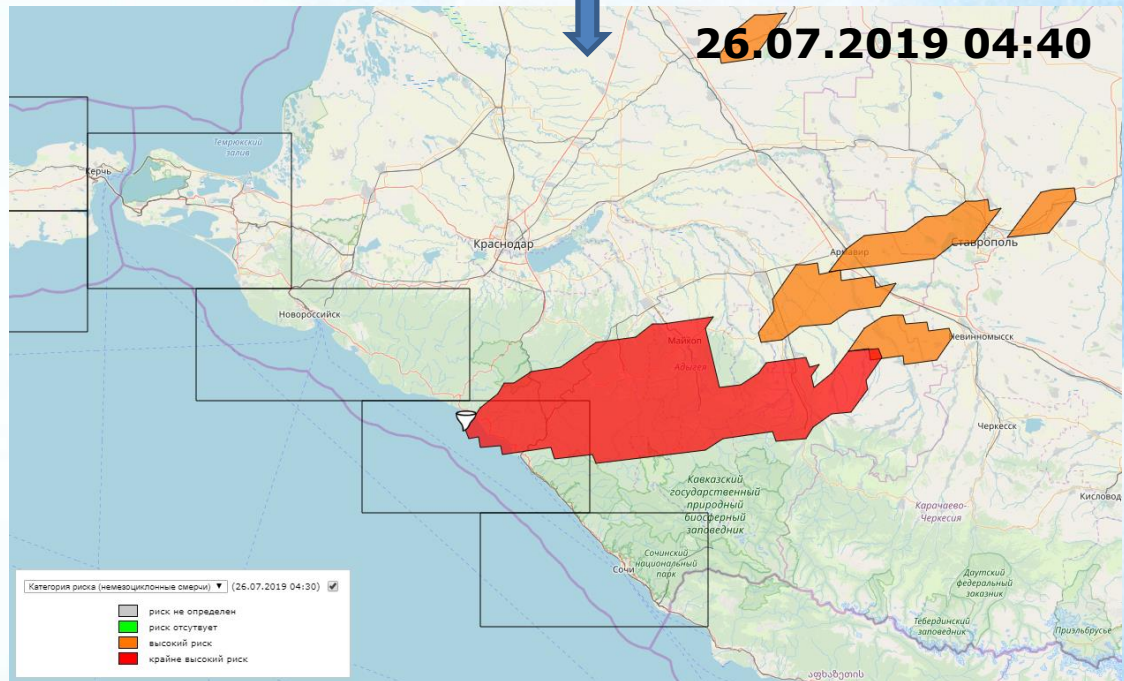
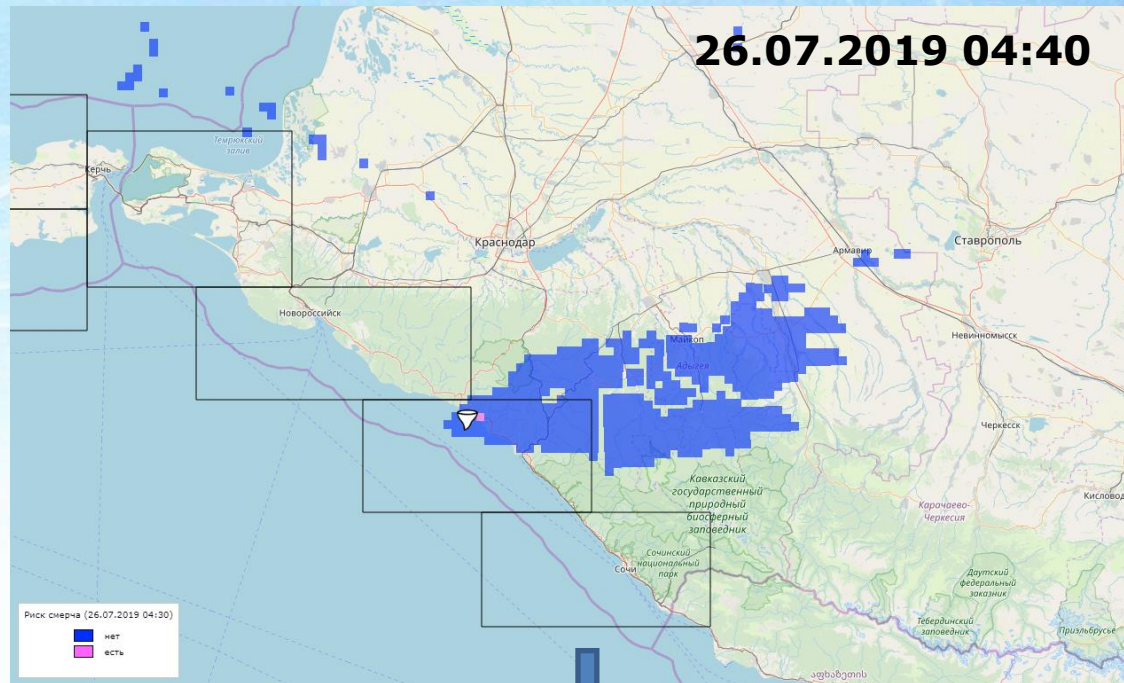
Смерч г. Сочи 30.11.2019 08:30



Холодный период

Классификация облаков

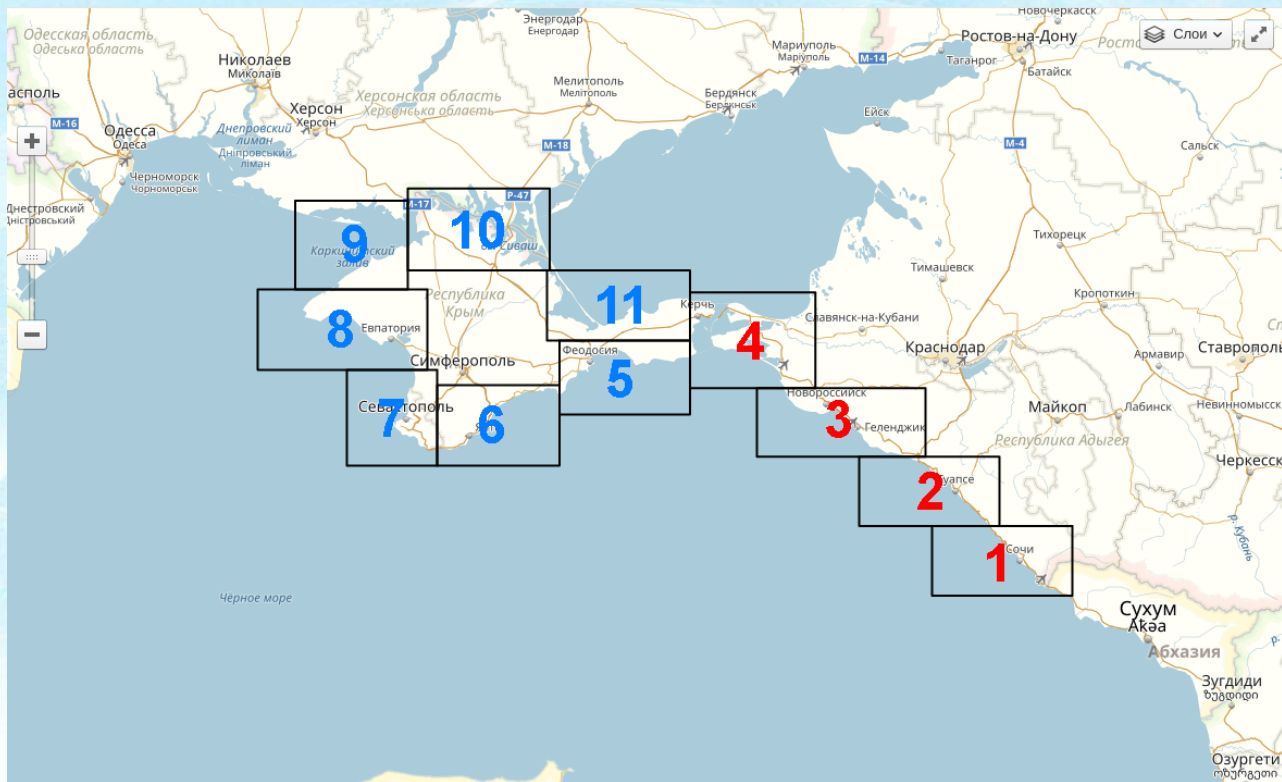
$$R = \begin{cases} dBZ_m \geq 40 \text{ dBZ} \\ H_{BGO} \geq 10 \text{ км} \\ VIL \geq 1 \text{ кг / м}^2 \\ C_{Я} \in [\text{осадки}, \text{ливень}, \text{гроза}] \end{cases}$$



Смерчеопасное облако (класс крайне высокой опасности формирования смерчей впервые присвоен в 03:50, смерч зарегистрирован в 04:40, заблаговременность распознавания – 50 мин)



Участки прибрежной акватории



- Участок №1 – Сочи (Чемитоквадже - Веселое)
- Участок №2 – Туапсе (Инал – Чемитоквадже)
- Участок №3 – Новороссийск (Варваровка - Инал)
- Участок №4 – Анапа (Темрюк - Варваровка)
- Участки №5-11 – Крым

Журнал смерчопасности

По результатам анализа зон риска смерчей формируются автоматические предупреждения о смерчах (АП). Они уточняются каждые 12 ч по мере появления новых прогнозов по модели COSMO-Ru. АП заносятся в журнал смерчопасности.

По результатам обобщения АП принимается решение о том, считать ли день смерчопасным или нет. При наличии как минимум трех согласованных по времени АП от различных счетов по модели, выданных на срок 3 ч и более, дается итоговый прогноз смерчопасности на рассматриваемый день, в противном случае смерчи не прогнозируются.

Журнал смерчопасности по
участку № 2 на 16.07.19
(**смерчопасный день**)

Журнал смерчопасности по
участку № 4 на 09.07.19
(**несмерчопасный день**)

Начало счета	Временной охват АП
14.07.2019 12 ч	с 01 до 07 ч
15.07.2019 00 ч	с 00 до 16 ч
15.07.2019 12 ч	с 02 до 19 ч
16.07.2019 00 ч	с 01 до 19 ч
16.07.2019 12 ч	с 12 до 21 ч

Начало счета	Временной охват АП
07.07.2019 12 ч	-
08.07.2019 00 ч	с 03 до 04 ч
08.07.2019 12 ч	с 01 до 03 ч
09.07.2019 00 ч	-
09.07.2019 12 ч	с 16 ч до конца дня

Смерчи над Черным морем в 2019 г.

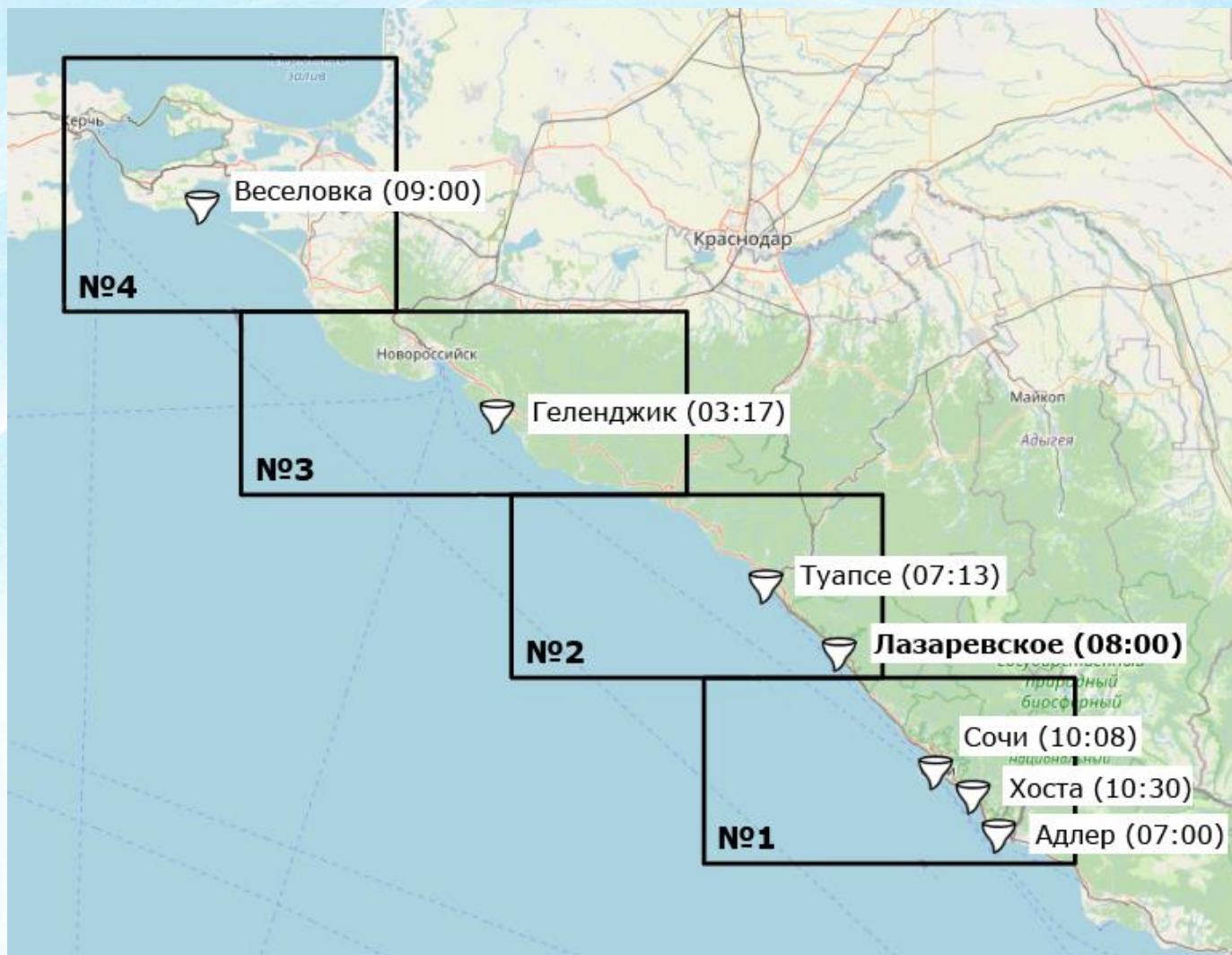


Официальные донесения: 17 дней со смерчами

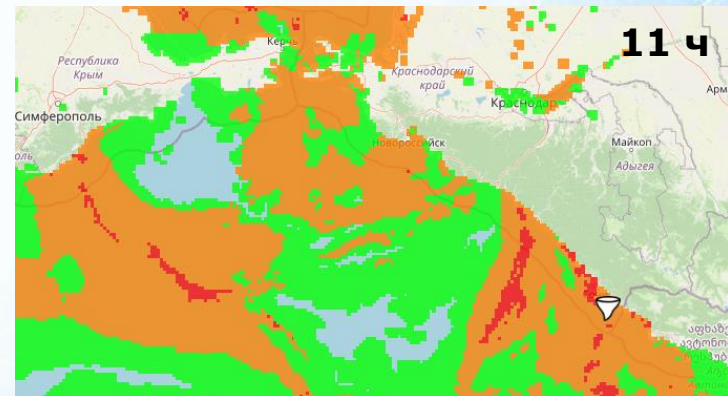
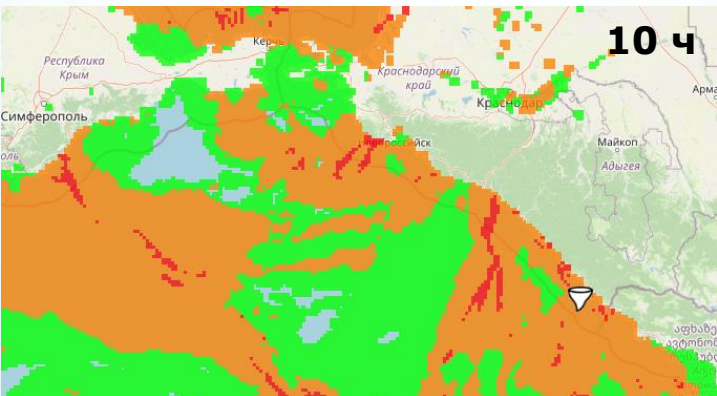
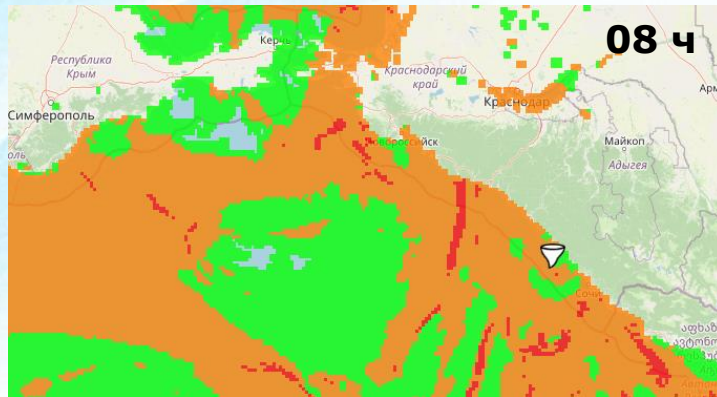
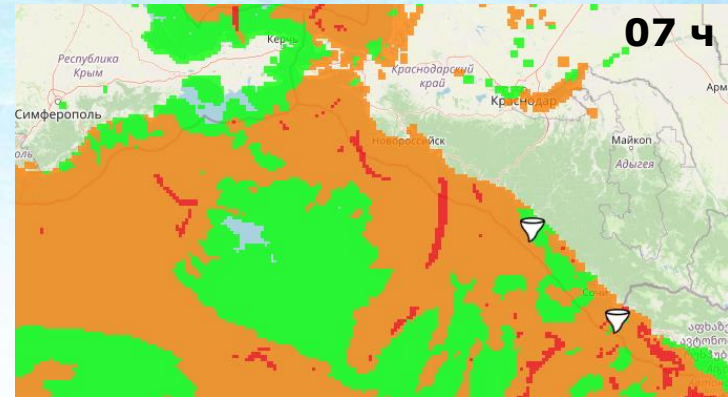
Официальные донесения + сообщения очевидцев: 26 дней со смерчами



Вспышка смерчей 16 июля 2019 г.



Зоны риска смерчей на 16 июля 2019 г. (прогноз от 15 июля 2019 г. 00 ч)



Журнал смерчопасности на 15-17 июля 2019 г.

№ уча стка	Прогнозируемый период появления смерчей					
	на 15 июля 2019 г.		на 16 июля 2019 г.		на 17 июля 2019 г.	
	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	-
	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	-
	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	-
2	14.07.2019 00 ч	-	15.07.2019 00 ч	с 0 до 16 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	-
	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	-
3	14.07.2019 00 ч	-	15.07.2019 00 ч	с 0 до 14 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	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	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	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	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	-

Диаграммы согласованности АП и ШП в 2019 г.

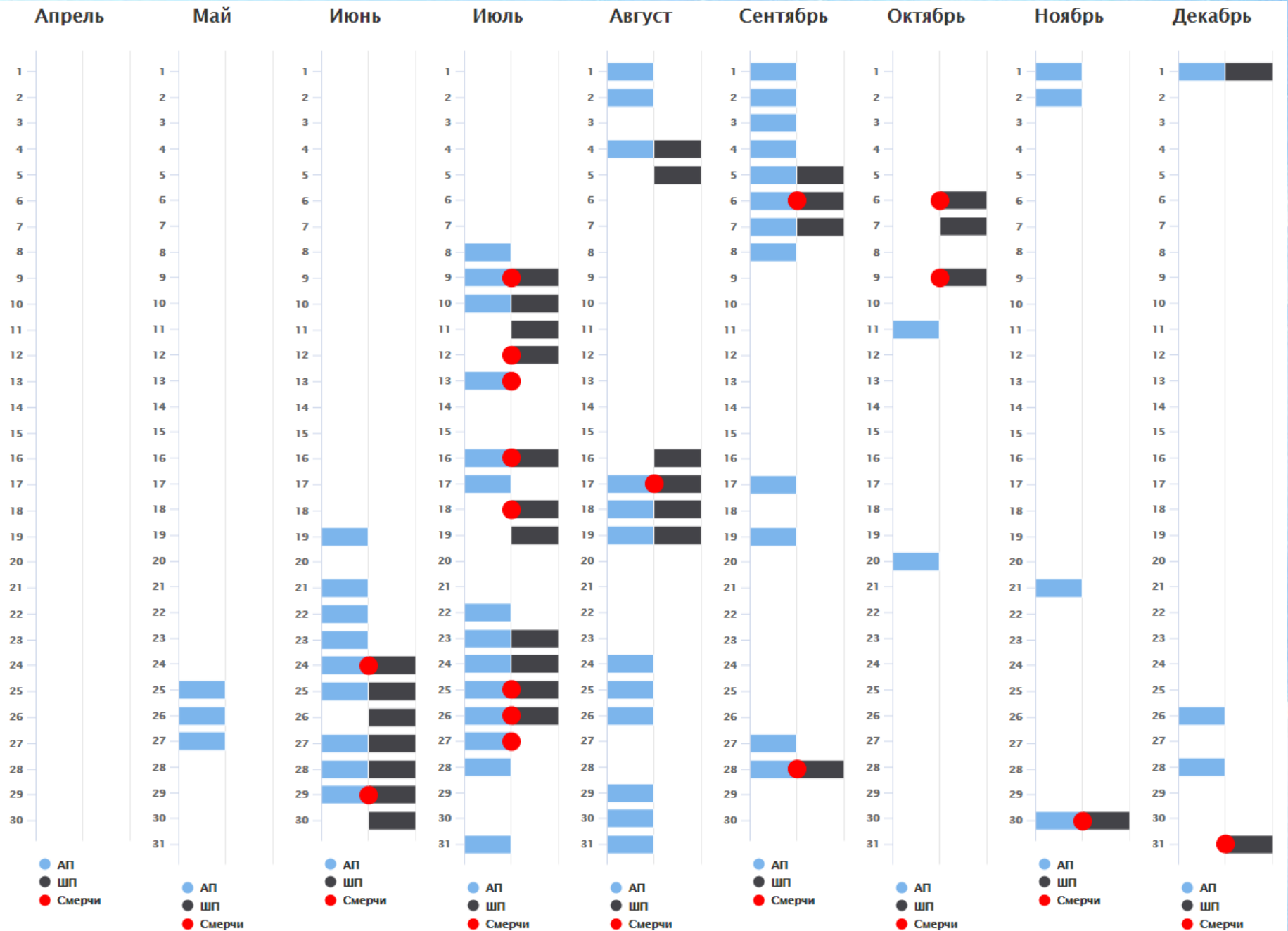


Таблица сопряженности прогнозов

май – октябрь 2019 г.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	Явление	Без явления	
Явление	11	41	52
Без явления	4	128	132
Сумма	15	169	184

апрель, ноябрь, декабрь 2019 г.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	Явление	Без явления	
Явление	1	6	7
Без явления	1	83	84
Сумма	2	89	91

75.5%

Общая оправдываемость прогноза

92.3%

21.2%

Оправдываемость наличия

14.3%

97%

Оправдываемость отсутствия

98.8%

73.3%

Предупрежденность явления

50%

75.7%

Предупрежденность отсутствия явления

93.2%

0.49

Критерий Пирси-Обухова

0.43

0.23

Критерий Багрова-Хайдке

0.20

0.20

Critical Success Index (CSI)

0.13

0.64

Extremal dependence index (EDI)

0.59

0.65

Symmetric extremal dependence index (SEDI)

0.63

Таблица сопряженности прогнозов (+очевидцы)

май – октябрь 2019 г.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	Явление	Без явления	
Явление	14 (11)	38 (41)	52
Без явления	8 (4)	124 (128)	132
Сумма	22 (15)	162 (169)	184

апрель, ноябрь, декабрь 2019 г.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	Явление	Без явления	
Явление	3 (1)	4 (6)	7
Без явления	1 (1)	83 (83)	84
Сумма	4 (2)	87 (89)	91

75% (75.5%)

26.9% (21.2%)

93.9% (97%)

63.6% (73.3%)

76.5% (75.7%)

0.40 (0.49)

0.25 (0.23)

0.23 (0.20)

0.52 (0.64)

0.55 (0.65)

Общая оправдываемость прогноза

Оправдываемость наличия

Оправдываемость отсутствия

Предупрежденность явления

Предупрежденность отсутствия явления

Критерий Пирси-Обухова

Критерий Багрова-Хайдке

Critical Success Index (CSI)

Extremal dependence index (EDI)

Symmetric extremal dependence index (SEDI)

94.5% (92.3%)

42.8% (14.3%)

98.8% (98.8%)

75% (50%)

95.4% (93.2%)

0.70 (0.43)

0.52 (0.20)

0.38 (0.13)

0.83 (0.59)

0.86 (0.63)

Решение ЦМКП (отрывок)

Решение ЦМКП

Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 18 сентября 2020 г.

.....

4.2. ЦМКП считает целесообразным:

– одобрить работу ФГБУ «НПО «Тайфун» по разработке автоматизированной технологии оценки и прогноза смерчеопасности на российской акватории Черного моря, а также работу ФГБУ «СЦГМС ЧАМ» и ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» по проведению испытаний, анализу и обобщению их результатов, формулировке рекомендаций по совершенствованию испытываемой технологии.

4.3. ЦМКП рекомендует:

- внедрить «Автоматизированную технологию оценки и прогноза смерчеопасности на российской акватории Черного моря» в ФГБУ «СЦГМС ЧАМ» и ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» в качестве консультативного метода прогноза смерчей к основному синоптическому методу;
 - ФГБУ «НПО «Тайфун» продолжить работу по совершенствованию Технологии, главным образом - в части уменьшения количества «ложных тревог».
-

Руководитель Росгидромета




И.А. Шумаков

Перспективы развития технологии

- Расширение базы знаний о смерчах – ежегодное пополнение специализированных архивов данных мониторинга, прогнозов метеопараметров и случаев регистрации смерчей в черноморском регионе.
- Усовершенствование регионального индекса смерчеопасности – уточнение формулы расчета индекса и пороговых значений входящих в его состав предикторов смерчей по результатам анализа базы знаний о смерчах за более длительный период.
- Разработка нового метода прогноза черноморских смерчей в холодный период.
- Обобщение алгоритма распознавания смерчеобразующих облаков на все классы опасных явлений – выявление конвективных облаков, генерирующих опасные явления, с использованием методов машинного обучения.
- Разработка метода оценки вероятности выхода смерча с моря на сушу.

Заключение

- Разработанная в НПО «Тайфун» методика оценки смерчеопасности является единственной известной методикой прогноза смерчей в прибрежной акватории Черного моря.
- В большинстве случаев периоды действия выданных в 2019 г. штормовых предупреждений о смерчах и прогнозов смерчеопасности по тестируемой технологии были согласованы.
- В теплый период (май-октябрь) 2019 г. количество ложных смерчеопасных дней по тестируемой технологии превышало аналогичное количество по синоптическому методу о смерчах. В то же время прогнозировалось большинство действительно отмечавшихся формирований смерчей над морем.
- В холодный период (апрель, ноябрь, декабрь) 2019 г., когда смерчи, как правило, не отмечаются, количество ложных прогнозов по технологии стремилось к нулю.
- Технология может служить ориентиром для синоптиков при принятии решений о выдаче штормовых предупреждений о смерчах.
- Анализ динамики избыточно прогнозируемой по технологии смерчеопасности позволяет выделить возможные границы активного смерчеобразования.
- Технология внедрена в СЦГМС ЧАМ и Северо-Кавказском УГМС в качестве консультативного метода прогноза смерчей.

A dramatic sky scene featuring a large, dark, vertical cloud formation that resembles a giant's hand or a massive plume of smoke. A bright, jagged lightning bolt strikes down from the top of this formation. The sky is filled with other smaller clouds, some illuminated by a warm, golden light, suggesting a sunset or sunrise. The overall atmosphere is intense and powerful.

**Спасибо
за внимание**