



Двадцать вторая международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
11-15 ноября 2024 г.

Развитие методов прогноза смерчопасных ситуаций и алгоритмов распознавания конвективных систем с возможными смерчами вблизи Черноморского побережья России

**О.В. Калмыкова, к.ф.-м.н.
ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск**

Хронология работы

ЦНТП Росгидромета на 2017-2019 гг.

Тема: Разработка технологии прогнозирования возникновения смерчеопасных ситуаций в Российской акватории Черного моря

2017 г: разработка методики оценки смерчеопасности и автоматизированной технологии расчета по методике

2018 г: авторские испытания технологии

2019 г: независимые испытания технологии (СЦГМС ЧАМ, г. Сочи, Северо-Кавказское УГМС, г. Ростов-на-Дону)

НИТР Росгидромета на 2020-2024 гг.

Тема: Развитие методов прогноза смерчеопасных ситуаций и алгоритмов распознавания потенциальных смерчевых облаков вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым

2020 г: рассмотрение результатов испытаний технологии на заседании Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам, принято решение о ее внедрении

2021 г: усовершенствование метода краткосрочного прогноза смерчеопасных ситуаций в теплый период года

2022 г: разработка новой схемы распознавания потенциальных смерчевых систем

2023 г: разработка нового метода краткосрочного прогноза смерчеопасных ситуаций в холодный период года

2024 г: разработка веб-интерфейса для просмотра базы данных о черноморских смерчах

Смерчи над Черным морем



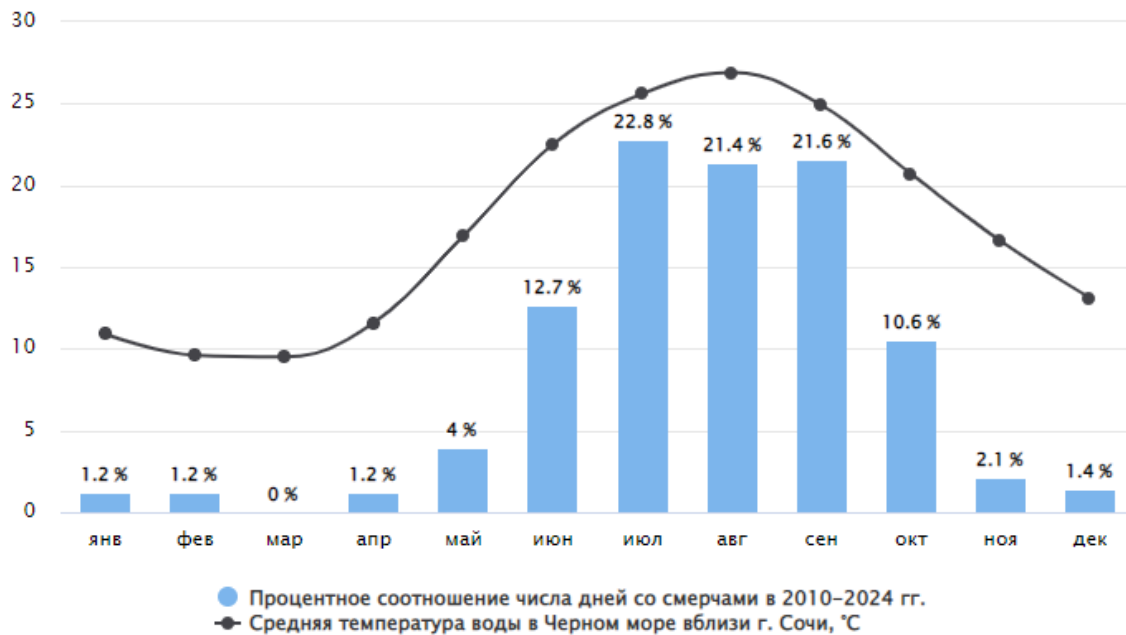
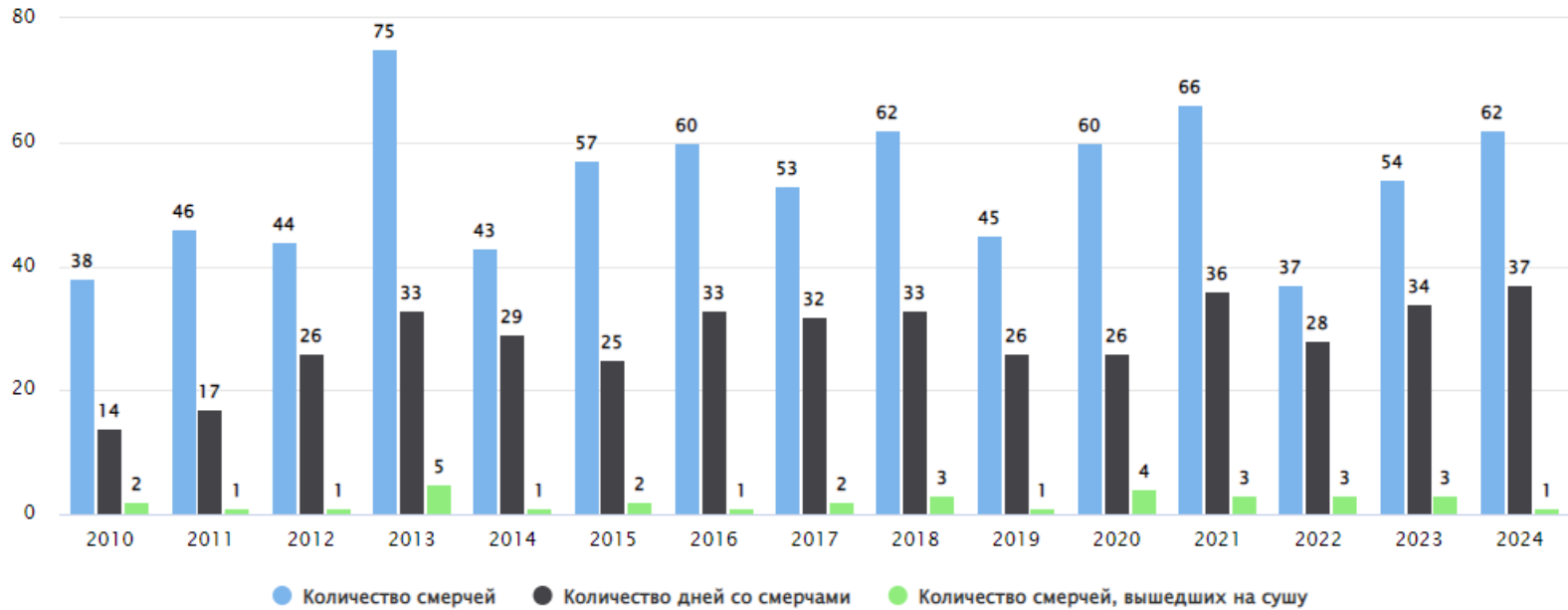
15 июня 2024 г.
п. Абрау-Дюрсо,
территория базы отдыха «Фрегат»



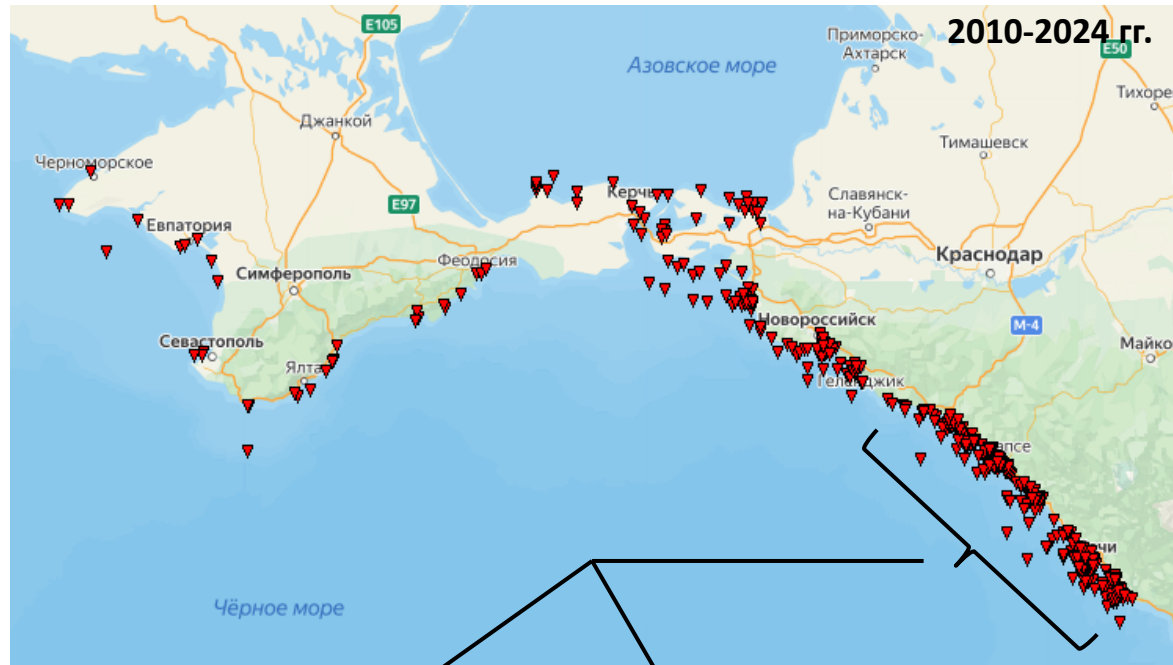
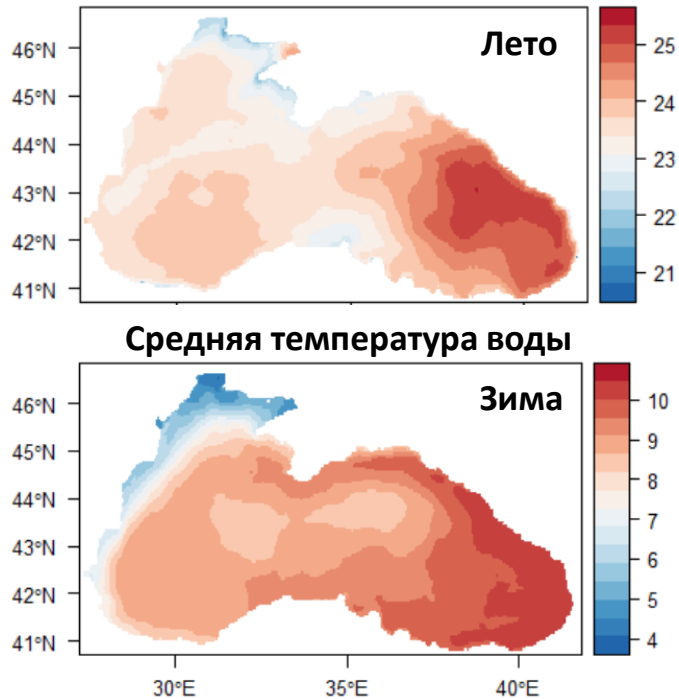
Результаты обследования районов возникновения и распространения гидрометеорологических явлений:

Разломана пластиковая пляжная мебель, перевёрнуты и перемещены прогулочные катамараны, повален 3D забор - из бетонного основания, вывернуты металлические опоры, выбиты стекла в оконных рамах, разорвано напольное резиновое покрытие на причале. Катер весом около 7 тонн в результате перемещения потоками воздуха получил пробоины в днище.

Смерчи над Черным морем



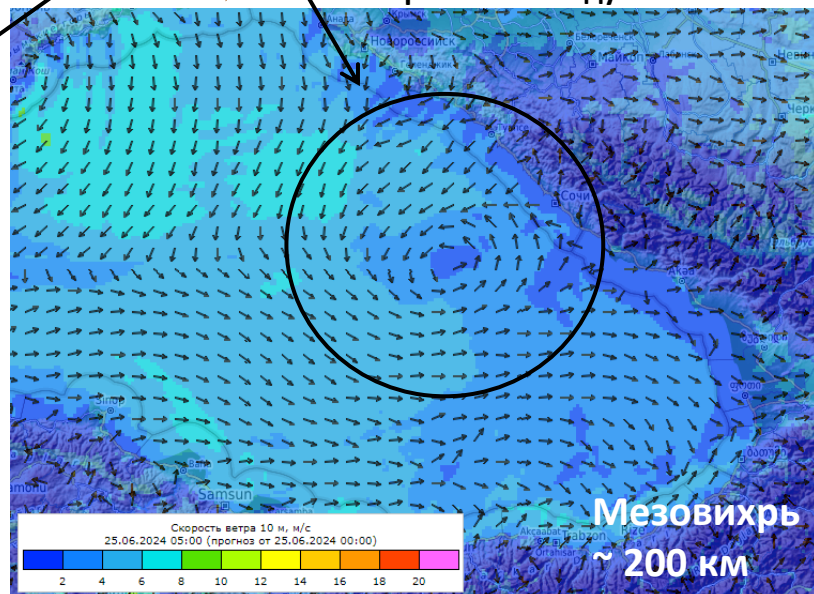
Смерчи над Черным морем



Влияние рельефа



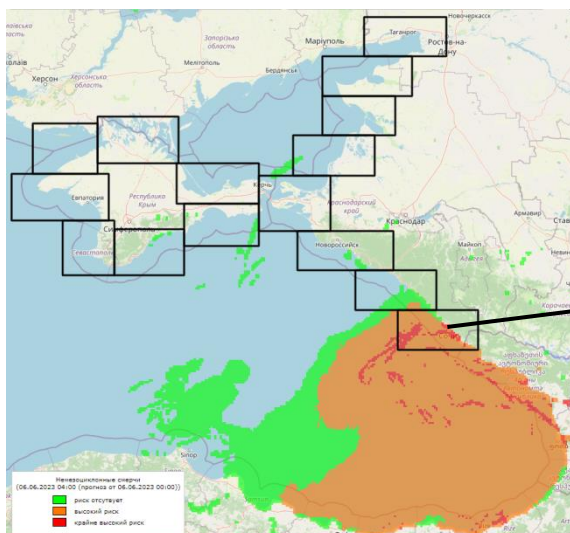
Завихренность воздушных потоков



Методика прогноза смерчеопасности

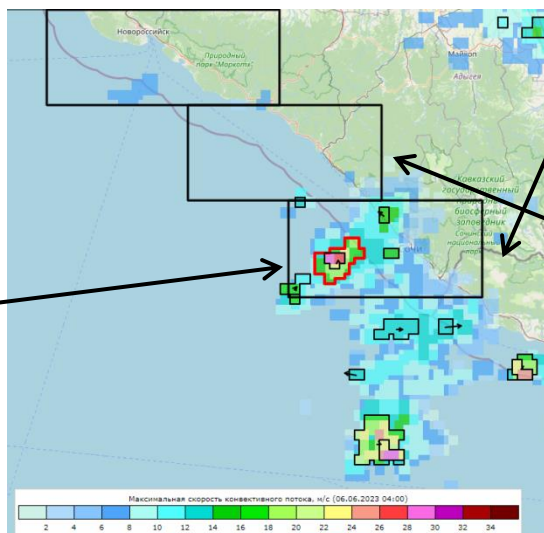
1. Выделение смерчеопасных областей акватории с различными зонами риска (зеленая зона – риск отсутствует, желтая – повышенный риск, оранжевая – высокий риск, красная – крайне высокий риск) с использованием модельных прогностических данных.

Основные методы: региональный индекс смерчеопасности WRI (для теплого и холодного периодов), номограмма Szilagyi, известные индексы конвективной неустойчивости.



2. Распознавание конвективных систем с возможными смерчами на базе данных дистанционных наблюдений (спутниковые, радиолокационные) в том числе с учетом ранее построенного прогноза смерчеопасных областей.

Основные методы: схема идентификации и прослеживания систем, пороговая схема, модели машинного обучения.



3. Определение смерчеопасных участков побережья, в том числе периодов времени, в течение которых на рассматриваемых участках возможно формирование смерчей.

Основной метод: анализ прогноза смерчеопасных областей.

Область № 1

На 06.06.2023

| | |
|-----------------|--|
| 04.06.2023 12 ч | с 03 до 07 ч (15 км ²) |
| 05.06.2023 00 ч | с 00 до 13 ч (30 км ²) с 16 до 19 ч (20 км ²) |
| 05.06.2023 12 ч | с 01 до 03 ч (10 км ²) с 06 до 13 ч (5 км ²) с 22 ч до конца дня (20 км ²) |
| 06.06.2023 00 ч | с 00 до 20 ч (990 км ²) |
| 06.06.2023 12 ч | с 12 ч до конца дня (1790 км ²) |

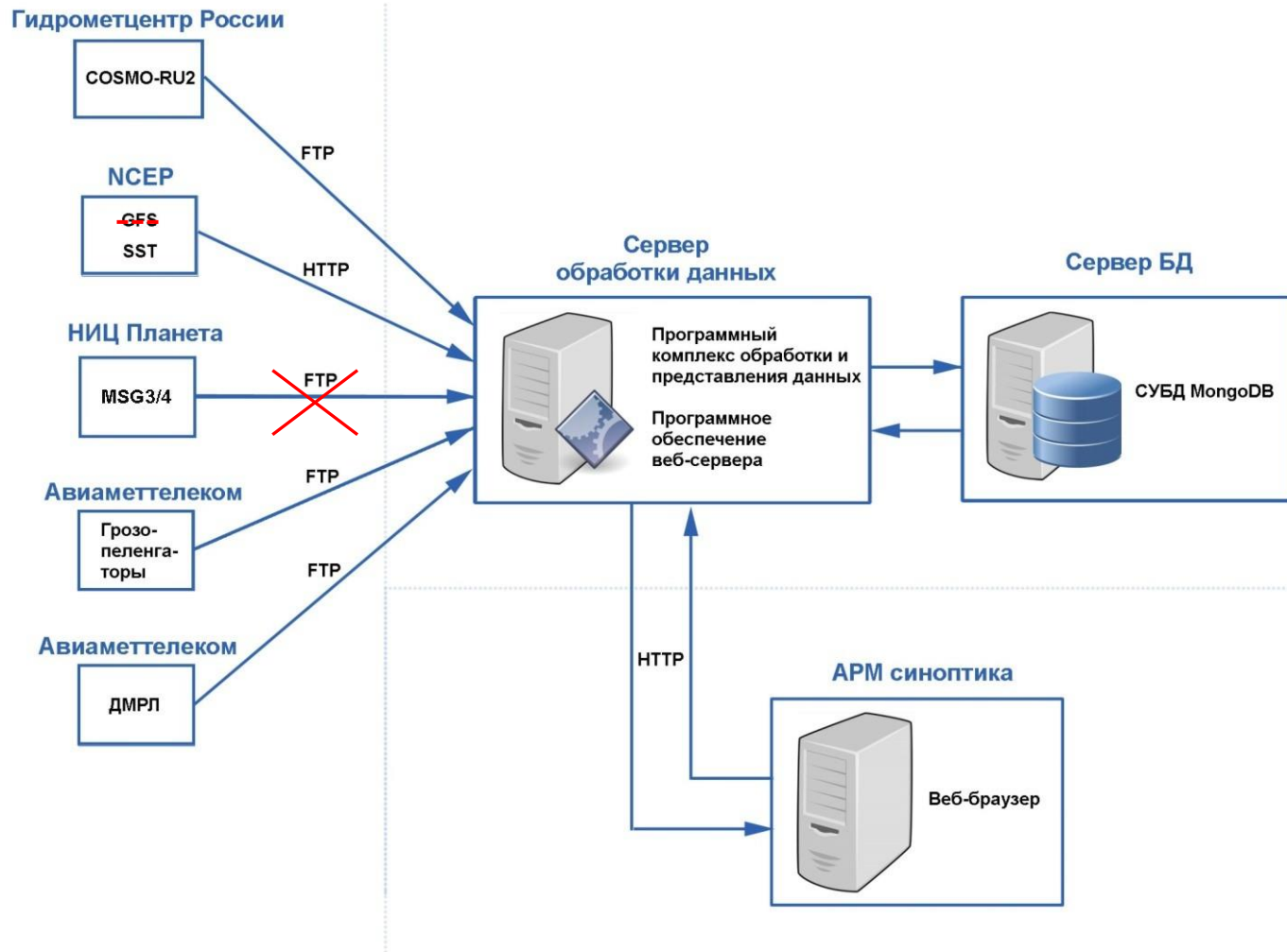
Область № 2

На 06.06.2023

| | |
|-----------------|--|
| 04.06.2023 12 ч | - |
| 05.06.2023 00 ч | - |
| 05.06.2023 12 ч | - |
| 06.06.2023 00 ч | - |
| 06.06.2023 12 ч | с 21 ч до конца дня (135 км ²) |

На сегодняшний момент является единственной известной методикой прогноза смерчей в прибрежной акватории Черного моря!

Автоматизированная технология расчета по методике



В настоящее время блок обработки спутниковых данных не функционирует в связи с введенными с 2022 г. ограничениями на частоту приема данных для российских потребителей (каждый час).

Веб-интерфейс технологии

Мониторинг смерчопасных ситуаций российской акватории Черного моря

Режим отображения данных

Архив **Реальное время** Прогноз

| | | | |
|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Модель COSMO-RU2 | прогноз | от 28.06.2024 00:00 | <input type="checkbox"/> |
| | | на 28.06.2024 07:00 | <input type="checkbox"/> |
| Спутниковые данные | - | | <input type="checkbox"/> |
| Грозопеленгаторы | с 28.06.2024 07:10 | | <input type="checkbox"/> |
| | по 28.06.2024 07:20 | | <input type="checkbox"/> |
| Радиолокационные данные | 28.06.2024 07:10 | | <input type="checkbox"/> |

Обновить все

Слои данных

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

Предупреждения

с 28.06.2024 Н единичные превышения
 по 29.06.2024 М

По областям ⁵⁴ По ячейкам По ДМРЛ

Начало моделирования Журнал

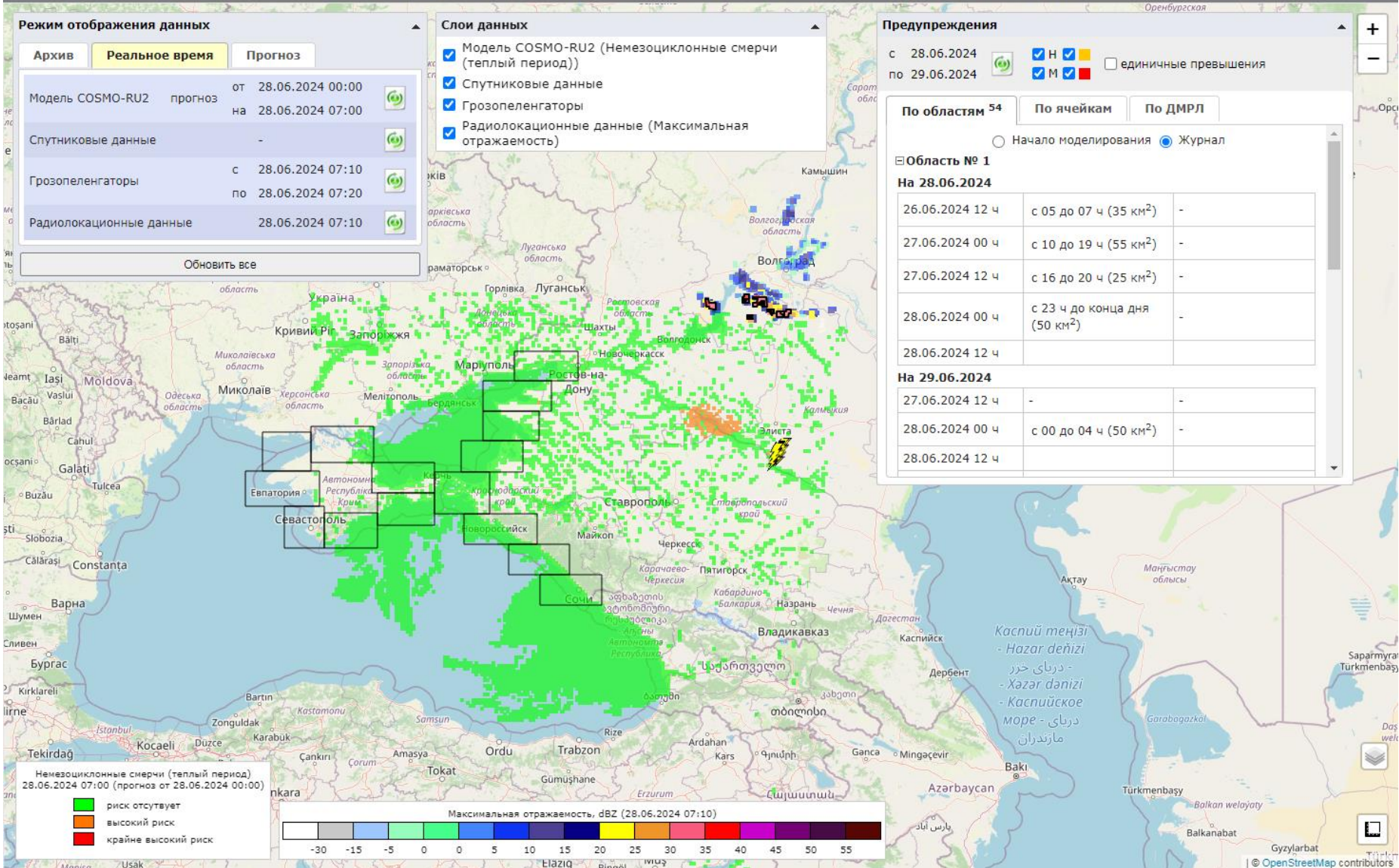
Область № 1

На 28.06.2024

| | | |
|-----------------|------------------------------|---|
| 26.06.2024 12 ч | с 05 до 07 ч (35 км²) | - |
| 27.06.2024 00 ч | с 10 до 19 ч (55 км²) | - |
| 27.06.2024 12 ч | с 16 до 20 ч (25 км²) | - |
| 28.06.2024 00 ч | с 23 ч до конца дня (50 км²) | - |
| 28.06.2024 12 ч | | |

На 29.06.2024

| | | |
|-----------------|-----------------------|---|
| 27.06.2024 12 ч | - | - |
| 28.06.2024 00 ч | с 00 до 04 ч (50 км²) | - |
| 28.06.2024 12 ч | | |



Немезоциклонные смерчи (теплый период)
 28.06.2024 07:00 (прогноз от 28.06.2024 00:00)

- риск отсутствует
- высокий риск
- крайне высокий риск



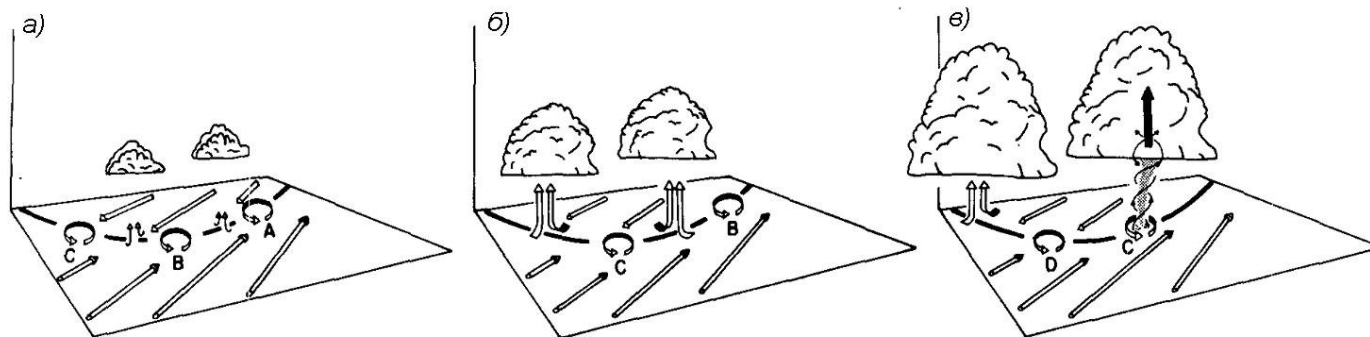
Усовершенствование регионального индекса смерчопасности WRI

«Ингредиенты» немезоциклонного смерчегенеза:

- сильная конвективная неустойчивость
 - ✓ DT_1 – разность температур поверхности моря и воздуха на уровне 1 км ($^{\circ}\text{C}$) (\uparrow)
 - ✓ глубина конвекции (км) (\uparrow)
- ресурс для развития конвекции
 - ✓ относительная влажность воздуха, осредненная в слое 0–1 км (%) (\uparrow)
- завихренность в приводном слое
 - ✓ горизонтальный сдвиг ветра на уровне 10 м ($^{\circ}/\text{км}$) (\uparrow)
- невозмущенное поле ветра
 - ✓ DU_1 – абсолютное значение разности скоростей ветра на уровнях 10 м и 1 км (м/с) (\downarrow)
 - ✓ S_1 – сдвиг ветра, осредненный в слое 0–1 км (м/(с·км)) (\downarrow)

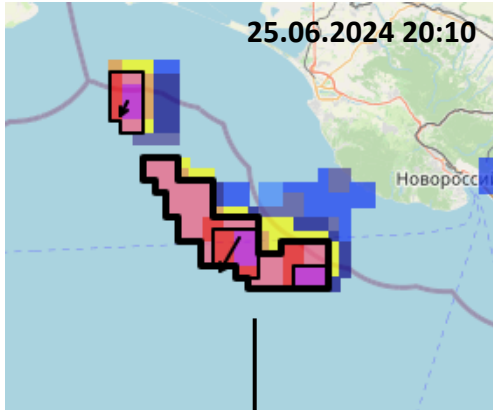
$$WRI_{21} = \frac{1}{5} * [\left(\begin{array}{l} (DT_1 \geq 8.5) \& (CD \geq 6) \\ (DT_1 \geq 6) \& (CD \geq 9) \end{array} \right) + (DD_{10} \geq 6) + (RH_1 \geq 76) + (DU_1 \leq 3.5) + (S_1 \leq 7.5)]$$

Новая формула расчета индекса позволяет уменьшить количество неспрогнозированных случаев смерчей на 17%, за счет дополнительного учета особенностей возникновения смерчопасных ситуаций в условиях вынужденной конвекции, обусловленной прохождением атмосферных фронтов.

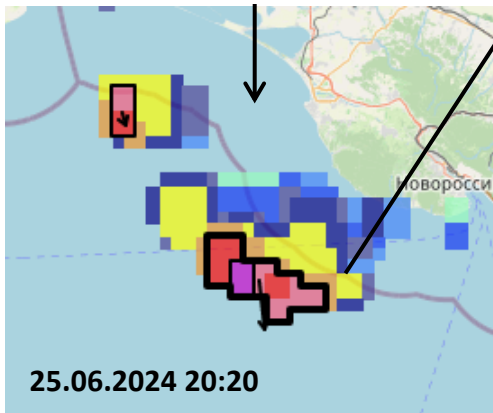


Разработка моделей классификации конвективных систем

1. Идентификация



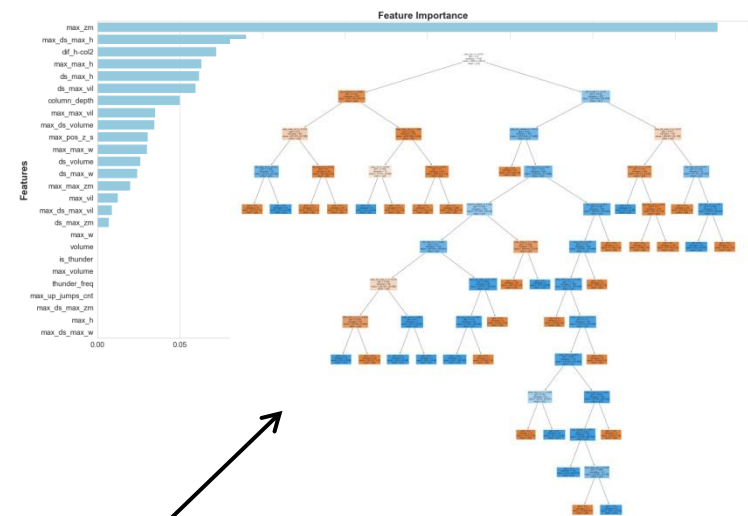
2. Прослеживание



3. Расчет характеристик

| Параметры системы | |
|--------------------------|------------------------|
| Дата и время | 25.06.2024 20:20 |
| Идентификатор | 20 |
| Дата и время родителя | 25.06.2024 20:10 |
| Идентификатор родителя | 23 |
| Размер по X | 45.759 км |
| Размер по Y | 32.971 км |
| Скорость | 15.631 м/с |
| Направление | 211° |
| Долгота ц.м. | 37.082° |
| Широта ц.м. | 44.589° |
| Min Zm | 30 dBZ |
| Max Zm | 42 dBZ |
| Avg Zm | 34.5 dBZ |
| Порог Zm | 30 dBZ |
| Max VIL | 2.76 кг/м ² |
| Max W | 16.45 м/с |
| Max PrecRate | 14.4 м/с |
| Max BFO | 7500 м |
| Площадь сечения по Zm | 621 км ² |
| Объем | 3681 км ³ |
| Средняя площадь по слоям | 504 км ² |
| Уровень max Zm | 0 м |
| Отметка грозоактивности | 0 |
| Расположение | Море |
| Риск NWP (NM) | 2 |
| Риск NWP (M) | 1 |
| Модель RF | 0.78 (1) |
| Модель DT | 1.00 (1) |
| Модель LR | 0.99 (1) |

Модели классификации (2022 г.)



На основе подхода к машинному обучению построены три модели классификации конвективных систем, использующие в качестве параметров значения радиолокационных характеристик систем и скорости их изменения: случайный лес (RF), дерево решений (DT), логистическая регрессия (LR).

Пороговая схема (2018 г.)

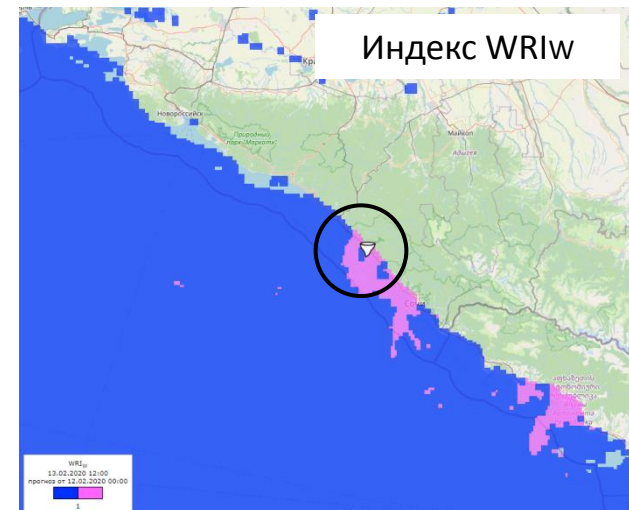
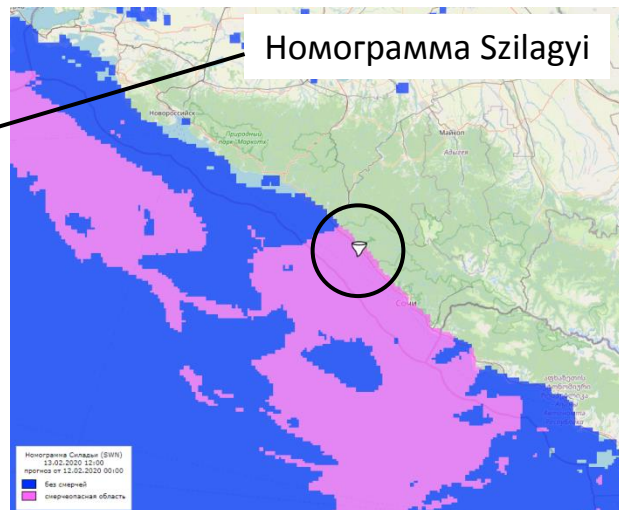
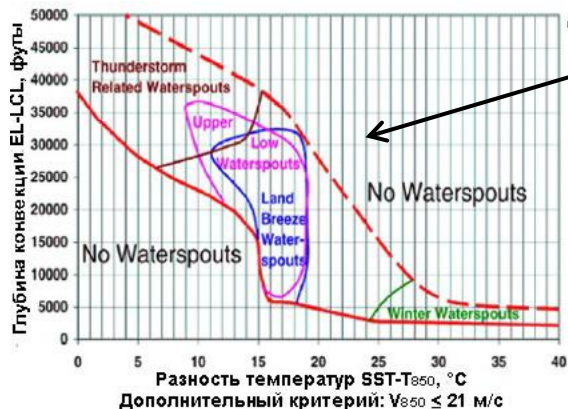
$$R = \begin{cases} dBZ_m \geq 40 \text{ dBZ} \\ H_{BFO} \geq 10 \text{ км} \\ VIL \geq 1 \text{ кг/м}^2 \\ C_{Я} \in [\text{осадки, ливень, гроза}] \end{cases}$$

Модели относят систему к одному из двух классов: смерчопасная система (класс W_+) и система, для которой возникновение смерчей не ожидается (класс W_-). Отнесение системы к классу W_+ следует рассматривать как прогнозируемую в пределе на ближайшие два часа опасность образования смерчей.

Разработка варианта расчета индекса WRI для холодного периода года

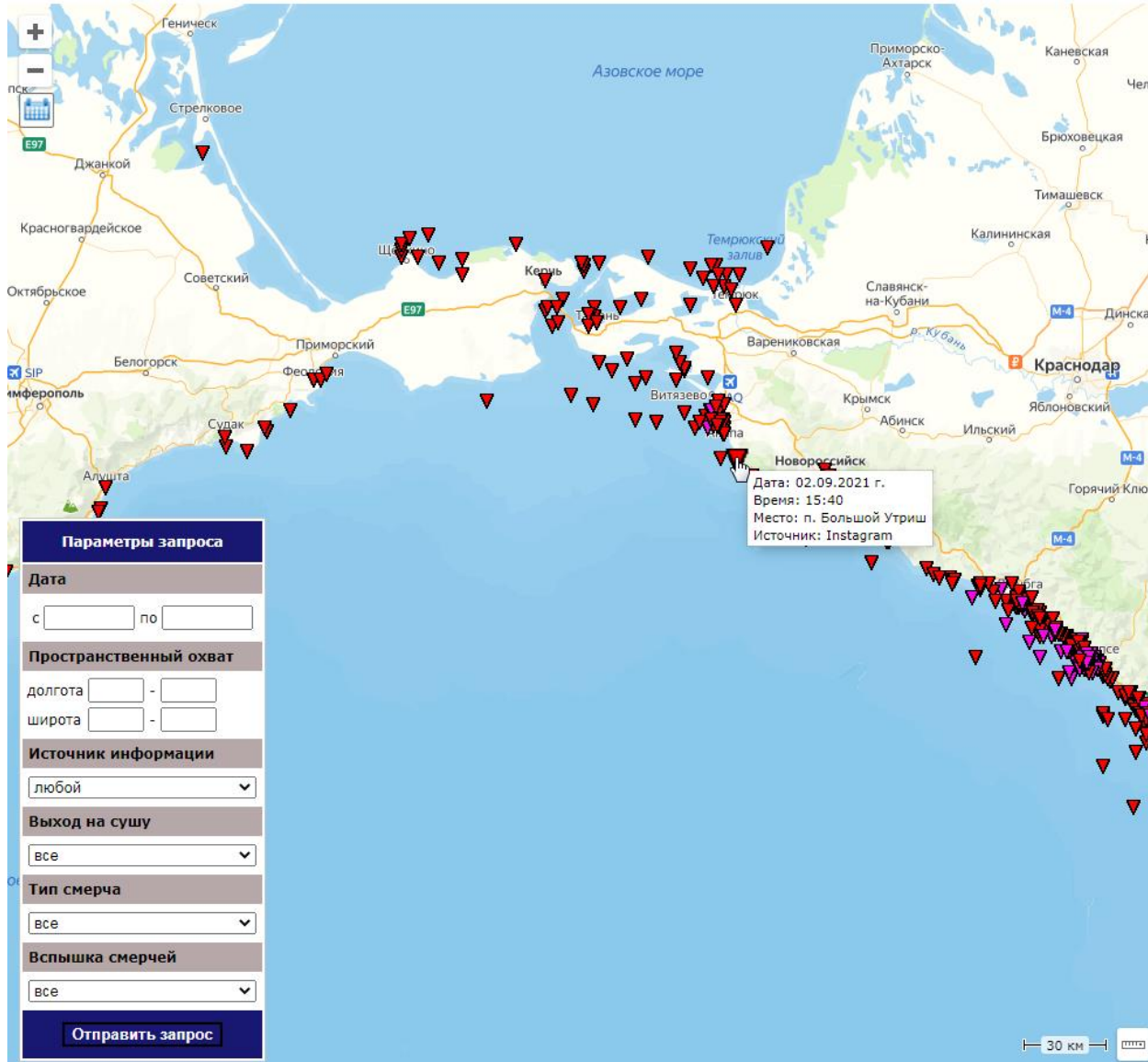
В состав WRI_{21} входят два сезонных предиктора: DT_1 и CD . Разность температур DT_1 в холодный период будет больше, чем в теплый. Для глубины конвекции CD наоборот – в теплый период смерчевые облака хорошо развиты по вертикали, в холодный период следует ожидать уменьшения их вертикальной протяженности. В новом индексе WRI_W для холодного периода используется новый предиктор поля ветра: W_1 – скорость ветра, осредненная в нижнем слое 0-1 км.

$$WRI_W = \frac{1}{5} * [(DT_1 \geq 10) + (DD_{10} \geq 3) + (RH_1 \geq 70) + (CD \geq 2) + (W_1 \leq 10)]$$



Индекс WRI_W позволяет формировать более качественный прогноз смерчеопасности по сравнению с прогнозом по номограмме Szilagy, как в плане предупрежденности смерчей, так и в плане более точной локализации зон риска их возникновения.

База данных черноморских смерчей

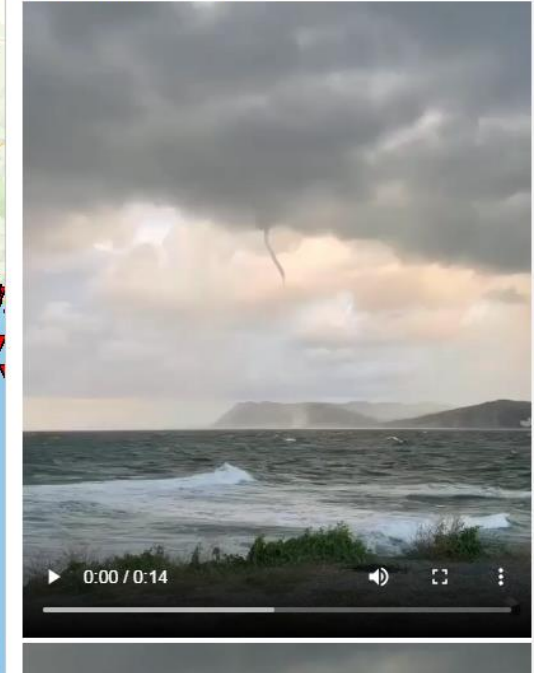


Дата: 02.09.2021 г.
Время (UTC): 15:40
Временная погрешность: -
Ближайший населенный пункт: п. Большой Утриш
Координаты: 37.38° в.д., 44.76° с.ш.
Пространственная погрешность: -
Источник: Instagram
Вышел на сушу: нет
Тип смерча: смерч, достигший поверхности воды
Относится к вспышке смерчей: нет

Большой Утриш
<https://www.instagram.com/p/CTU-bluoSwE/>
2021-09-02T17:38:46.000Z -> В 18:40

https://www.instagram.com/p/CTU_z0FIUoT/
2021-09-02T17:44:41.000Z

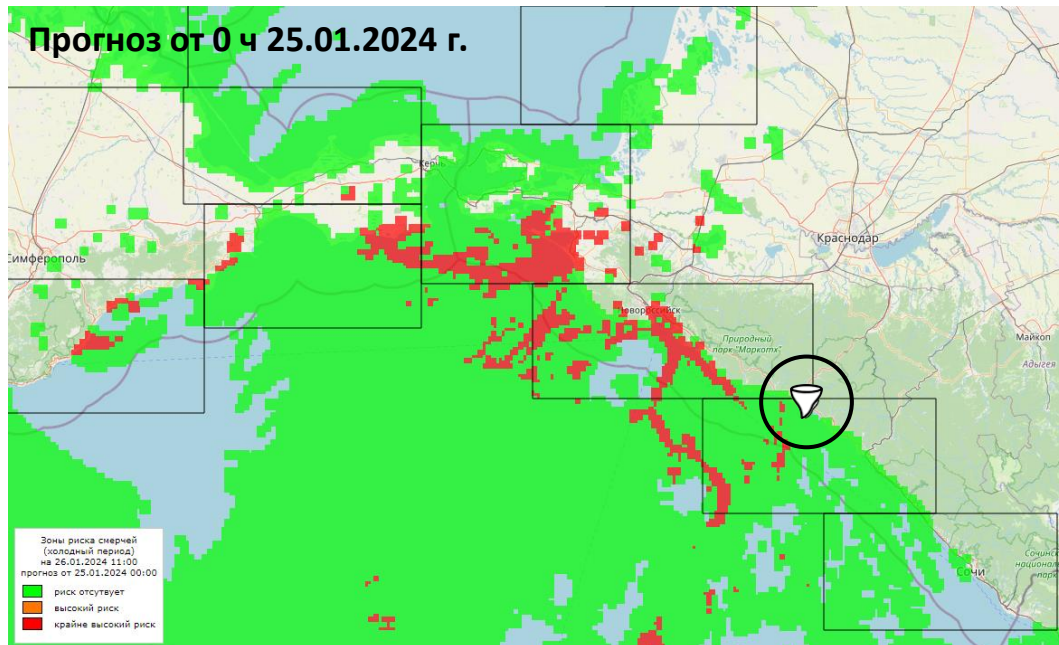
Непогода продолжает гулять по Краснодарскому краю. Причём синоптики предупреждали, что в районе Чёрного моря возможны смерчи. И так и случилось - очередной вихрь заметили возле Утриша.
<https://www.instagram.com/p/CTVCQg3IoDT/>
2021-09-02T18:06:44.000Z



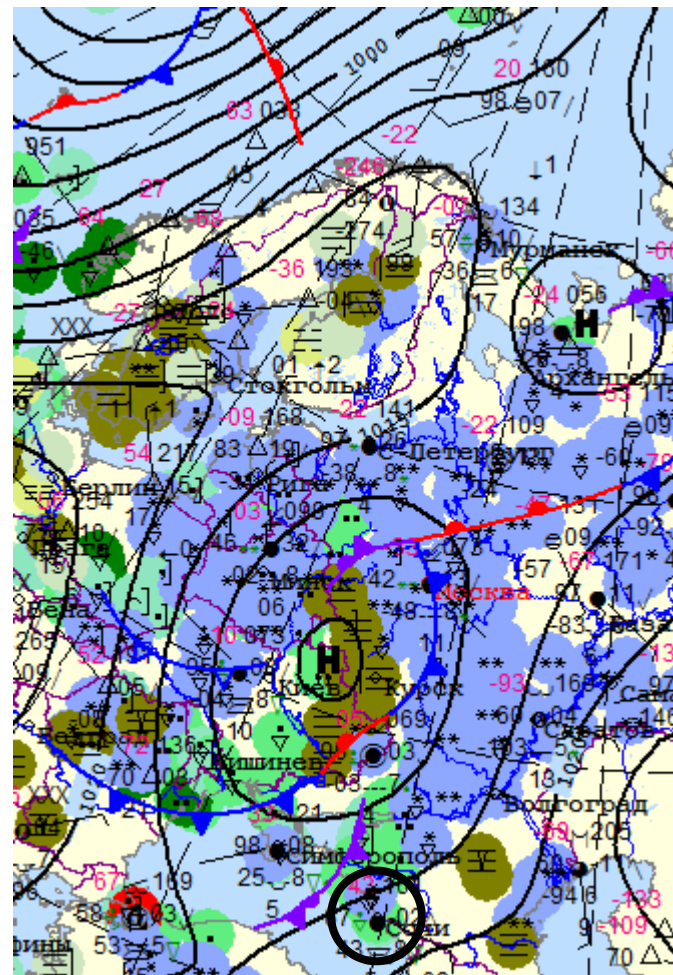
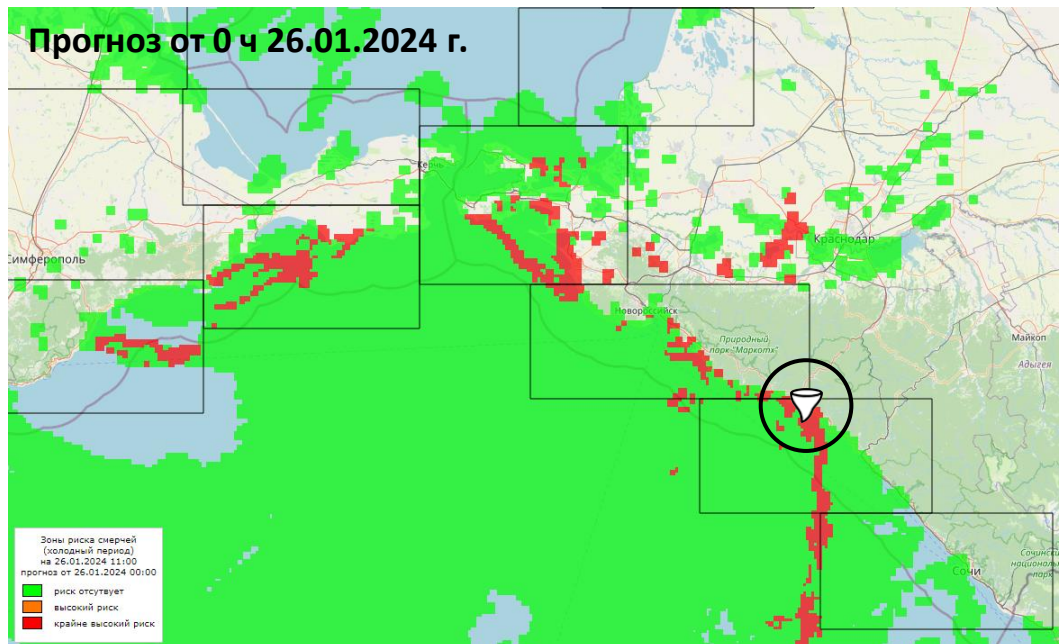
На данный момент в БД содержатся сведения о 740 смерчах за период с 2010 по 2023 гг., из них 298 записей из официальных донесений, 442 записи – сообщения очевидцев.

Смерч 26 января 2024 г. вблизи п. Лермонтово (прогноз зон риска)

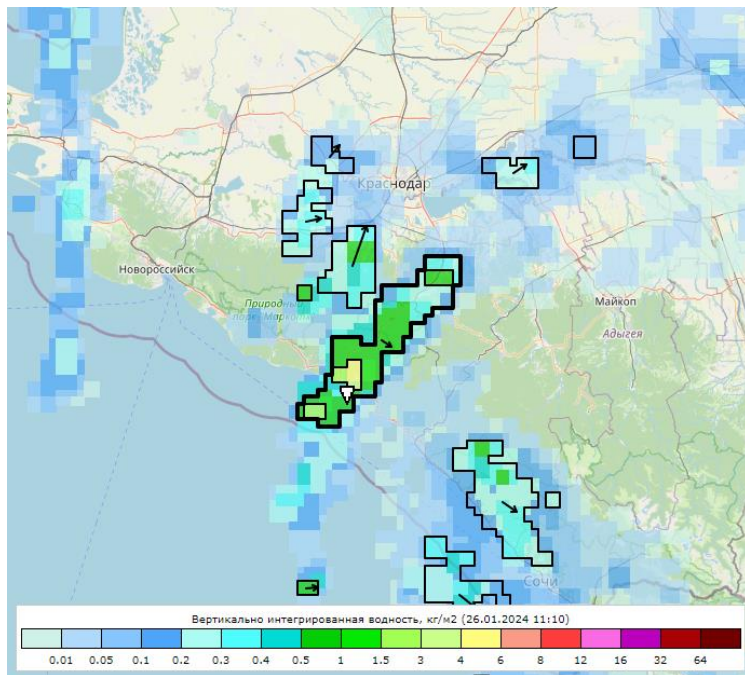
Прогноз от 0 ч 25.01.2024 г.



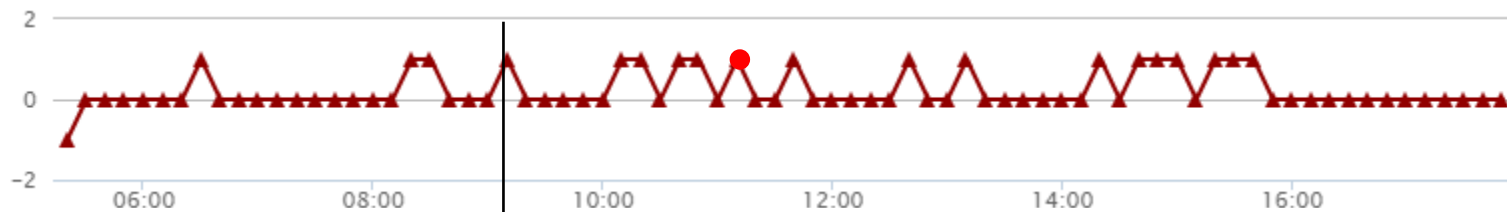
Прогноз от 0 ч 26.01.2024 г.



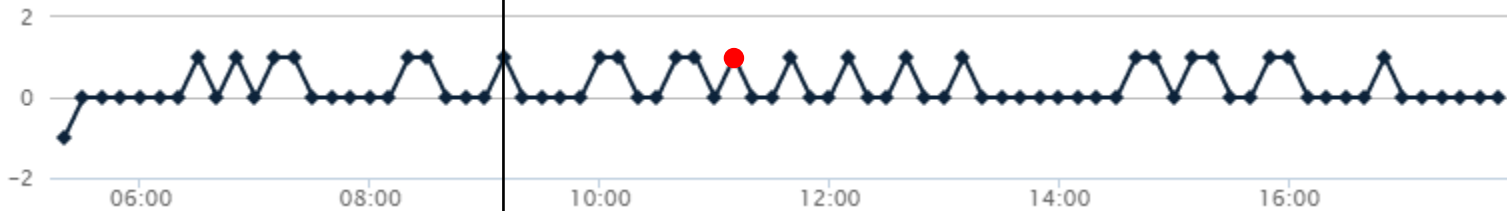
Смерч 26 января 2024 г. вблизи п. Лермонтово (классификация системы)



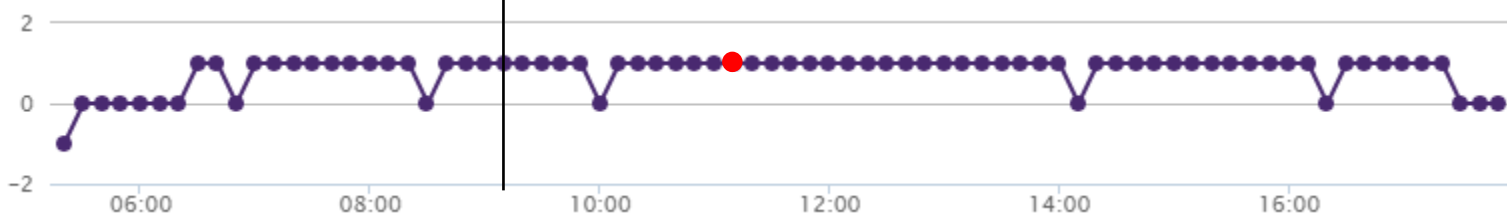
Модель DT



Модель RF



Модель LR



Смерч 26 января 2024 г. вблизи п. Лермонтово (журнал опасности)

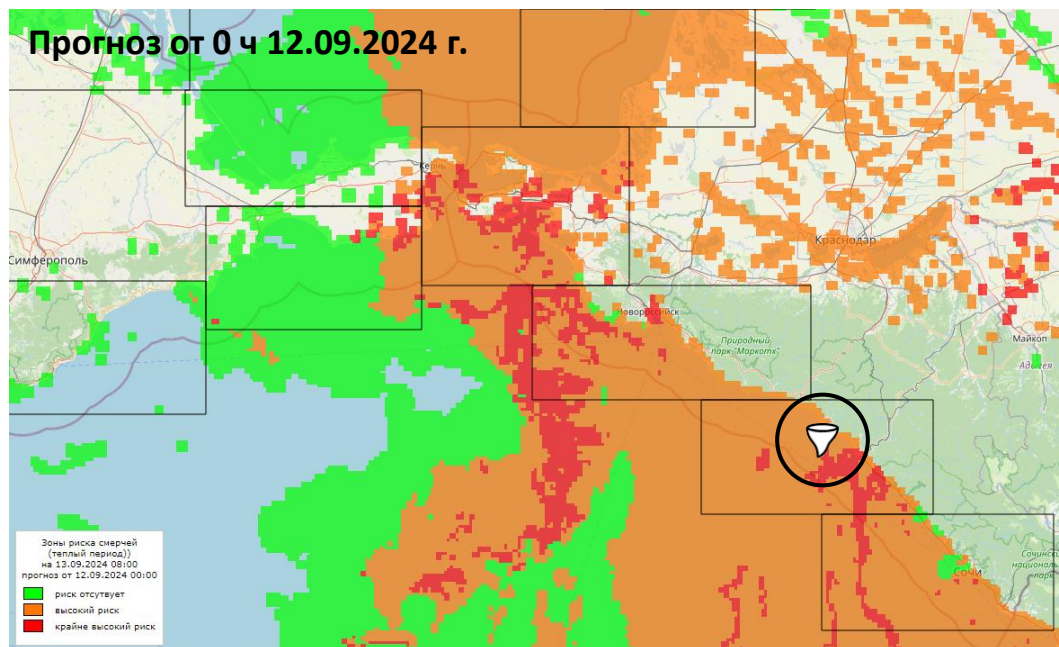
| Область № 1 | | Область № 2 | | Область № 3 | | Область № 4 | |
|-----------------|--|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|
| На 25.01.2024 | | На 25.01.2024 | | На 25.01.2024 | | На 25.01.2024 | |
| 23.01.2024 12 ч | - | 23.01.2024 12 ч | - | 23.01.2024 12 ч | - | 23.01.2024 12 ч | - |
| 24.01.2024 00 ч | - | 24.01.2024 00 ч | - | 24.01.2024 00 ч | - | 24.01.2024 00 ч | - |
| 24.01.2024 12 ч | - | 24.01.2024 12 ч | - | 24.01.2024 12 ч | с 22 ч до конца дня (1340 км ²) | 24.01.2024 12 ч | с 23 ч до конца дня (1420 км ²) |
| 25.01.2024 00 ч | - | 25.01.2024 00 ч | - | 25.01.2024 00 ч | с 21 ч до конца дня (1810 км ²) | 25.01.2024 00 ч | с 20 до 22 ч (55 км ²) |
| 25.01.2024 12 ч | - | 25.01.2024 12 ч | с 13 до 15 ч (95 км ²) | 25.01.2024 00 ч | с 21 ч до конца дня (1810 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 19 ч до конца дня (185 км ²) |
| 25.01.2024 12 ч | - | 25.01.2024 12 ч | с 13 до 15 ч (95 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 22 ч до конца дня (2330 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 19 ч до конца дня (185 км ²) |
| На 26.01.2024 | | На 26.01.2024 | | На 26.01.2024 | | На 26.01.2024 | |
| 24.01.2024 12 ч | - | 24.01.2024 12 ч | с 03 до 07 ч (845 км ²) | 24.01.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (1340 км ²) | 24.01.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (1420 км ²) |
| 25.01.2024 00 ч | с 12 до 19 ч (830 км ²) | 25.01.2024 00 ч | с 10 до 19 ч (1025 км ²) | 25.01.2024 00 ч | с 00 до 19 ч (1810 км ²) | 25.01.2024 00 ч | с 00 до 19 ч (1630 км ²) |
| 25.01.2024 12 ч | с 10 ч до конца дня (1150 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 02 ч до конца дня (2395 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 00 до 19 ч (1810 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 03 до 18 ч (1790 км ²) |
| 26.01.2024 00 ч | с 08 ч до конца дня (1395 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 03 ч до конца дня (1695 км ²) | 25.01.2024 12 ч | весь день (2330 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 03 до 18 ч (1790 км ²) |
| 26.01.2024 12 ч | с 14 ч до конца дня (2445 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 14 ч до конца дня (2090 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 01 до 23 ч (1100 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 02 до 17 ч (1280 км ²) |
| 26.01.2024 12 ч | с 14 ч до конца дня (2445 км ²) | 26.01.2024 12 ч | с 14 ч до конца дня (2090 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 01 до 23 ч (1100 км ²) | 26.01.2024 12 ч | с 14 до 18 ч (1140 км ²) |
| 26.01.2024 12 ч | с 14 ч до конца дня (2445 км ²) | 26.01.2024 12 ч | с 14 ч до конца дня (2090 км ²) | 26.01.2024 12 ч | с 13 ч до конца дня (830 км ²) | 26.01.2024 12 ч | с 14 до 18 ч (1140 км ²) |
| На 27.01.2024 | | На 27.01.2024 | | На 27.01.2024 | | На 27.01.2024 | |
| 25.01.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (1150 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (2395 км ²) | 25.01.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (2330 км ²) | 25.01.2024 12 ч | - |
| 26.01.2024 00 ч | с 00 до 07 ч (1395 км ²) с 15 до 19 ч (85 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 00 до 06 ч (1695 км ²) с 11 до 19 ч (250 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 10 до 16 ч (185 км ²) | 26.01.2024 00 ч | - |
| 26.01.2024 12 ч | весь день (2445 км ²) | 26.01.2024 12 ч | весь день (2090 км ²) | 26.01.2024 00 ч | с 10 до 16 ч (185 км ²) | 26.01.2024 12 ч | - |
| 27.01.2024 00 ч | с 18 ч до конца дня (2020 км ²) | 27.01.2024 00 ч | с 16 ч до конца дня (1070 км ²) | 26.01.2024 12 ч | с 00 до 20 ч (830 км ²) | 27.01.2024 00 ч | - |
| 27.01.2024 12 ч | с 16 ч до конца дня (2560 км ²) | 27.01.2024 00 ч | с 16 ч до конца дня (1070 км ²) | 27.01.2024 00 ч | с 07 до 17 ч (80 км ²) | 27.01.2024 12 ч | - |
| 27.01.2024 12 ч | с 16 ч до конца дня (2560 км ²) | 27.01.2024 12 ч | с 14 ч до конца дня (785 км ²) | 27.01.2024 12 ч | - | 27.01.2024 12 ч | - |

Штормовое предупреждение

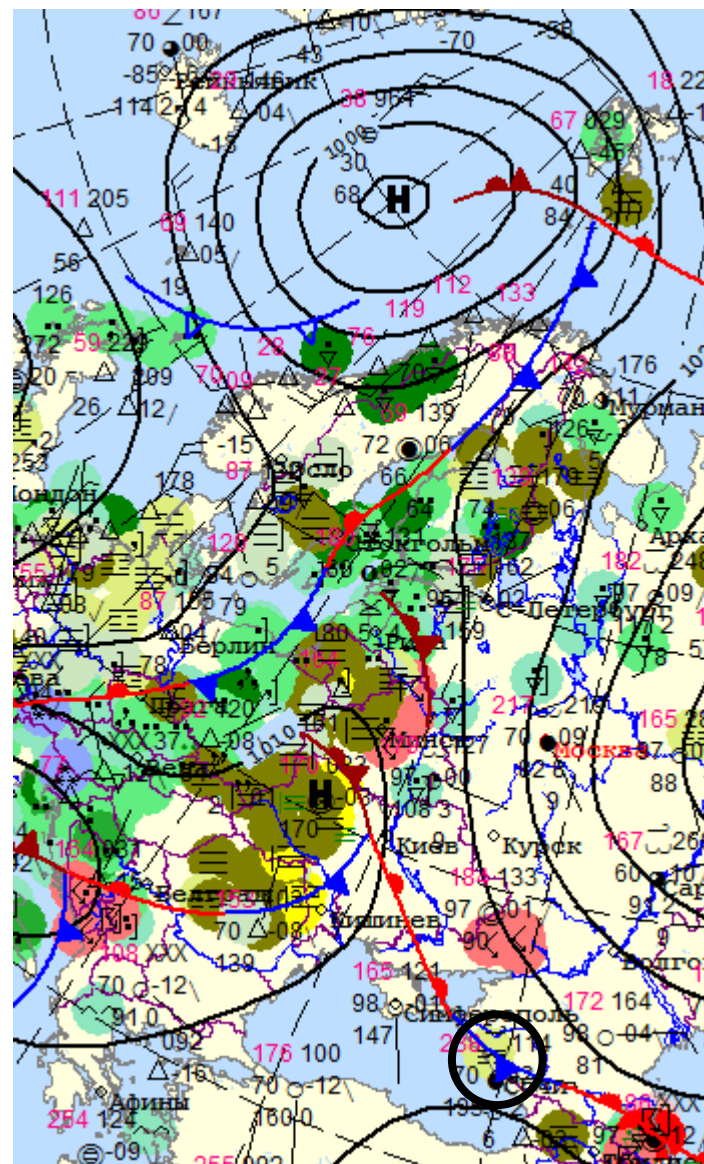
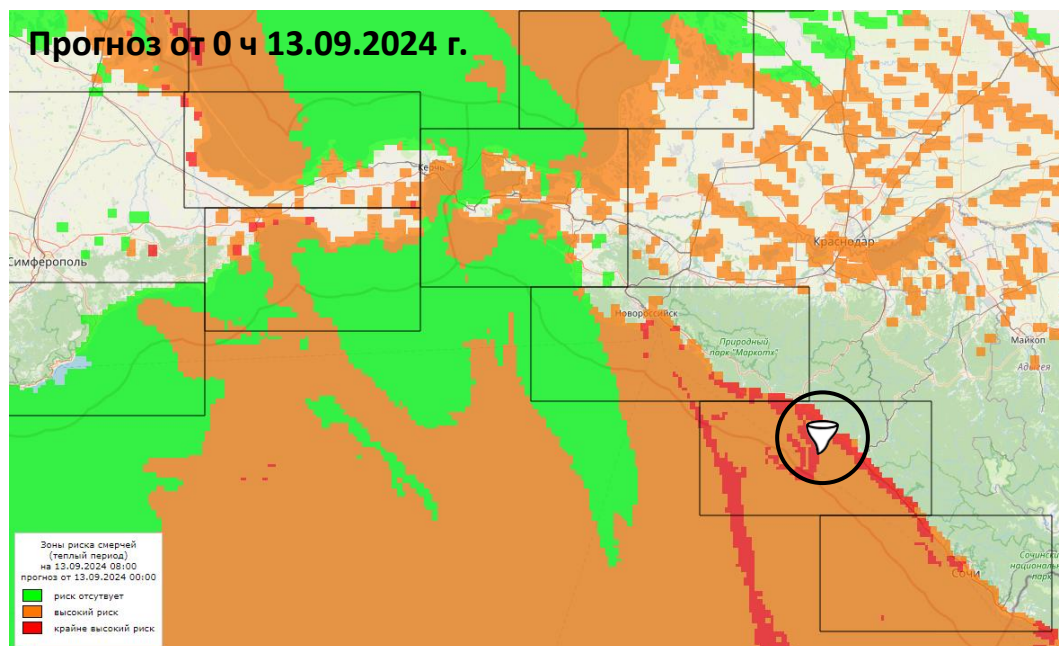
ВЕЧЕРОМ И ДО КОНЦА СУТОК 25 ЯНВАРЯ, В ТЕЧЕНИЕ СУТОК 26 ЯНВАРЯ МЕСТАМИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ (ИСКЛЮЧАЯ МУНИЦИПАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ГОРОД-КУРОРТ СОЧИ) ОЖИДАЕТСЯ КОМПЛЕКС МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ, СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ СО СНЕГОМ, В СОЧЕТАНИИ С ГРОЗОЙ И СИЛЬНЫМ ВЕТРОМ С ПОРЫВАМИ 20-22 М/С. НА РЕКАХ, МАЛЫХ РЕКАХ И ВОДОТОКАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ КРАЯ (КРЫМСКИЙ, АБИНСКИЙ, СЕВЕРСКИЙ, АПШЕРОНСКИЙ, ТЕМРЮКСКИЙ РАЙОНЫ, МО ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ) И ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ (МО ГЕЛЕНДЖИК, ТУАПСИНСКИЙ РАЙОН) ОЖИДАЮТСЯ ПОДЪЕМЫ УРОВНЕЙ ВОДЫ МЕСТАМИ С ПРЕВЫШЕНИЕМ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ОТМЕТОК.

Смерч 13 сентября 2024 г. вблизи п. Ольгинка (прогноз зон риска)

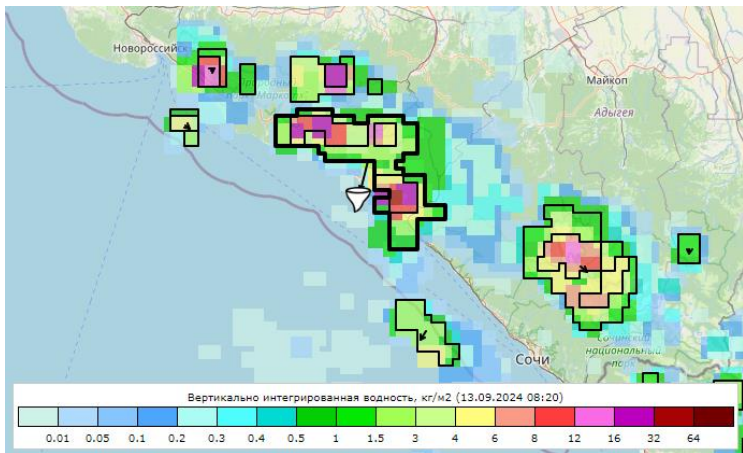
Прогноз от 0 ч 12.09.2024 г.



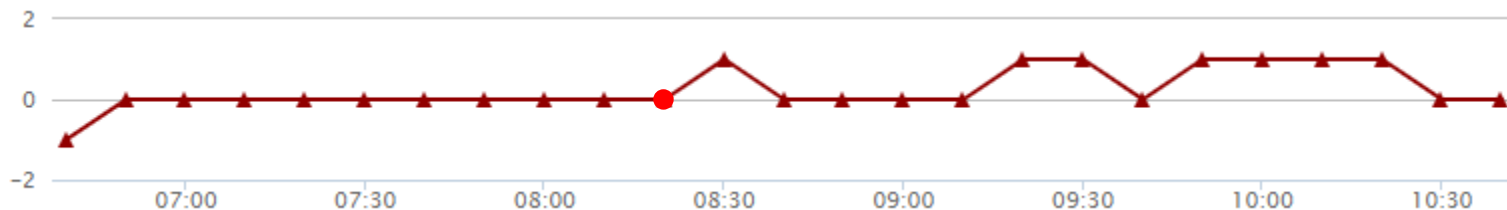
Прогноз от 0 ч 13.09.2024 г.



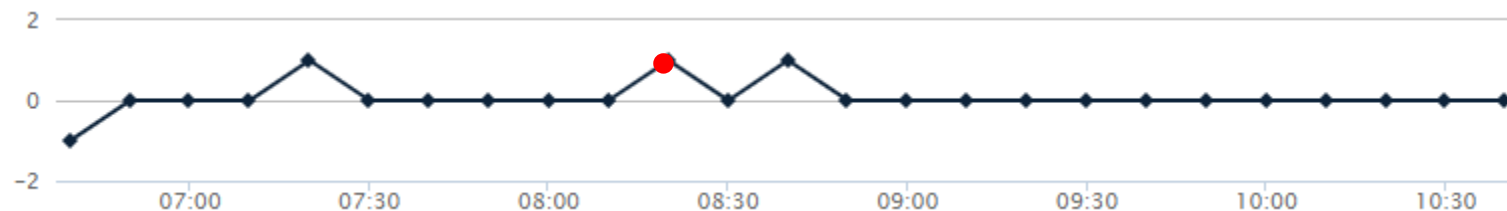
Смерч 13 сентября 2024 г. вблизи п. Ольгинка (классификация системы)



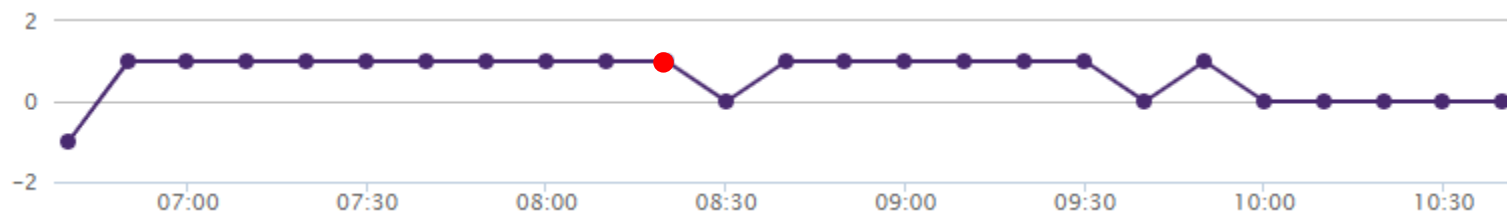
Модель DT



Модель RF



Модель LR



Смерч 13 сентября 2024 г. вблизи п. Ольгинка (журнал опасности)

Область № 1

На 12.09.2024

| | |
|-----------------|---|
| 10.09.2024 12 ч | - |
| 11.09.2024 00 ч | - |
| 11.09.2024 12 ч | с 22 ч до конца дня (385 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 19 ч до конца дня (1315 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 17 ч до конца дня (525 км ²) |

На 13.09.2024

| | |
|-----------------|---|
| 11.09.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (385 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 00 до 16 ч (1315 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 00 до 14 ч (525 км ²) с 19 ч до конца дня (275 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | весь день (1250 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | с 12 ч до конца дня (570 км ²) |

На 14.09.2024

| | |
|-----------------|--|
| 12.09.2024 12 ч | с 00 до 03 ч (275 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | с 00 до 02 ч (335 км ²) с 08 до 12 ч (300 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | с 00 до 02 ч (570 км ²) |
| 14.09.2024 00 ч | - |
| 14.09.2024 12 ч | - |

Область № 2

На 12.09.2024

| | |
|-----------------|---|
| 10.09.2024 12 ч | - |
| 11.09.2024 00 ч | - |
| 11.09.2024 12 ч | с 23 ч до конца дня (505 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 20 ч до конца дня (2330 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 21 ч до конца дня (835 км ²) |

На 13.09.2024

| | |
|-----------------|--|
| 11.09.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (505 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 00 до 12 ч (2330 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 00 до 09 ч (835 км ²) с 11 до 15 ч (340 км ²) с 23 ч до конца дня (180 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | с 00 до 15 ч (1035 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | с 12 до 14 ч (355 км ²) с 20 ч до конца дня (1035 км ²) |

На 14.09.2024

| | |
|-----------------|--|
| 12.09.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (180 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | с 03 до 05 ч (30 км ²) с 07 до 12 ч (1090 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | с 00 до 12 ч (1035 км ²) |
| 14.09.2024 00 ч | - |
| 14.09.2024 12 ч | - |

Область № 3

На 12.09.2024

| | |
|-----------------|---|
| 10.09.2024 12 ч | - |
| 11.09.2024 00 ч | - |
| 11.09.2024 12 ч | с 22 ч до конца дня (1050 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 23 ч до конца дня (1205 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 22 ч до конца дня (730 км ²) |

На 13.09.2024

| | |
|-----------------|--------------------------------------|
| 11.09.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (1050 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 00 до 11 ч (1205 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 00 до 13 ч (730 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | с 00 до 15 ч (225 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | с 12 до 18 ч (240 км ²) |

На 14.09.2024

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| 12.09.2024 12 ч | с 05 до 07 ч (35 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | с 07 до 12 ч (100 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | с 05 до 11 ч (190 км ²) |
| 14.09.2024 00 ч | - |
| 14.09.2024 12 ч | - |

Область № 4

На 12.09.2024

| | |
|-----------------|--|
| 10.09.2024 12 ч | - |
| 11.09.2024 00 ч | - |
| 11.09.2024 12 ч | с 15 до 20 ч (80 км ²) с 23 ч до конца дня (570 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 23 ч до конца дня (950 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | - |

На 13.09.2024

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| 11.09.2024 12 ч | с 00 до 07 ч (570 км ²) |
| 12.09.2024 00 ч | с 00 до 16 ч (950 км ²) |
| 12.09.2024 12 ч | с 07 до 16 ч (310 км ²) |
| 13.09.2024 00 ч | с 13 до 15 ч (5 км ²) |
| 13.09.2024 12 ч | - |

На 14.09.2024

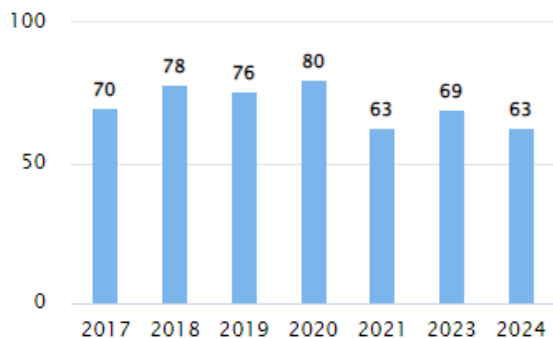
| | |
|-----------------|------------------------------------|
| 12.09.2024 12 ч | - |
| 13.09.2024 00 ч | - |
| 13.09.2024 12 ч | - |
| 14.09.2024 00 ч | с 01 до 03 ч (45 км ²) |
| 14.09.2024 12 ч | - |

Штормовое предупреждение

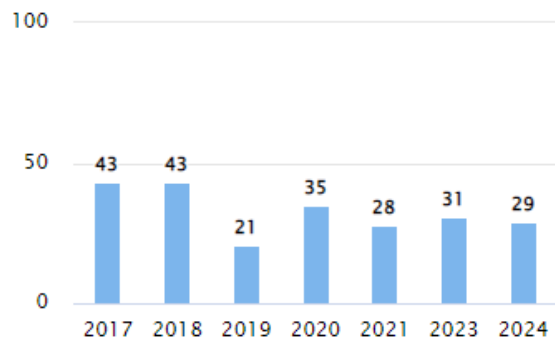
В ПЕРИОД 12-13 Ч, ДО КОНЦА ДНЯ И ВЕЧЕРОМ 13 СЕНТЯБРЯ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ В РАЙОНЕ ДЖУБГА-МАГРИ ИМЕЕТСЯ ОПАСНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СМЕРЧЕЙ.

Показатели качества прогноза смерчопасности в 2017-2024 гг. (теплый период)

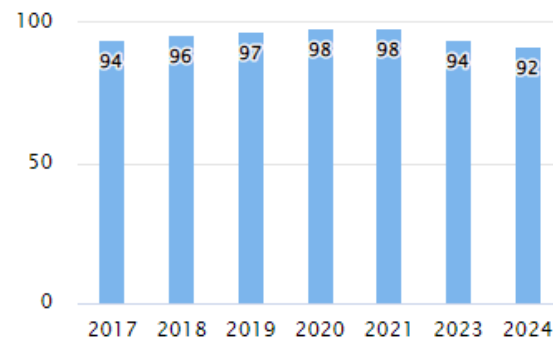
Общая оправдываемость прогноза, %



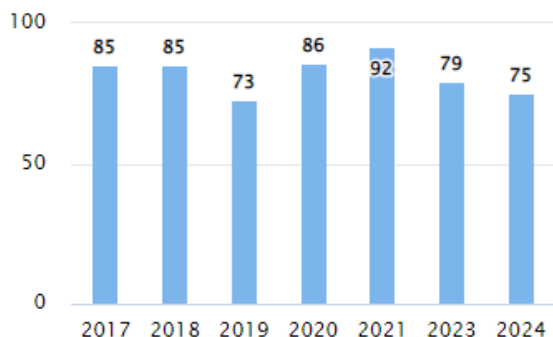
Оправдываемость с явлением, %



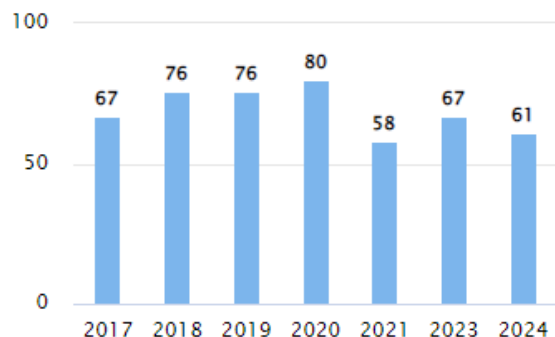
Оправдываемость без явления, %



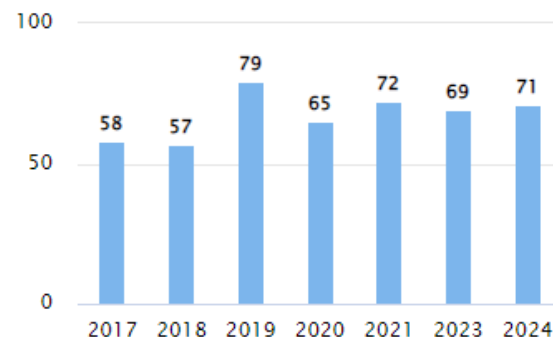
Предупрежденность с явлением, %



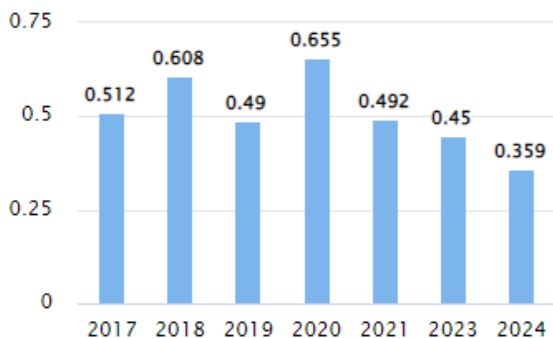
Предупрежденность без явления, %



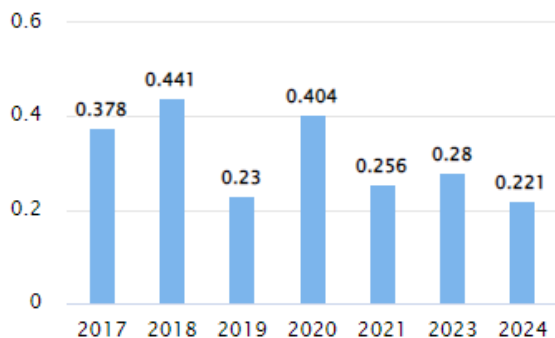
Доля ложных прогнозов, %



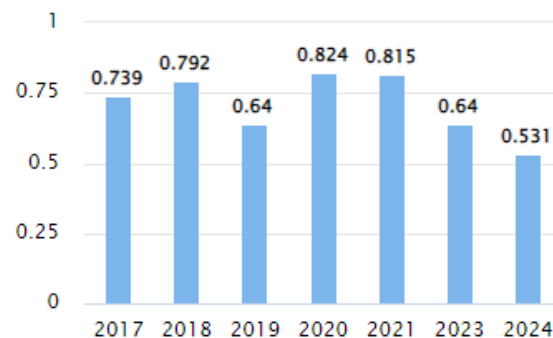
Критерий Пирси-Обухова



Критерий Багрова-Хайдке



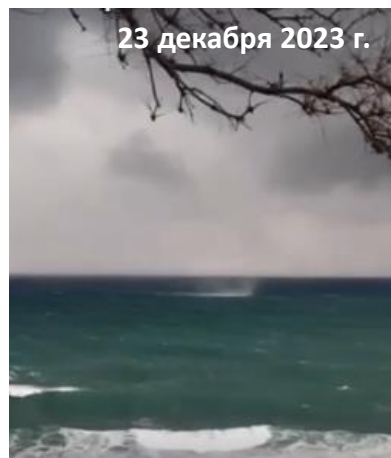
Индекс экстремальной зависимости



Тестирование индекса WRI_w (декабрь 2023 г. – апрель 2024 г.)

Спрогнозированные случаи

Индекс WRI_w +
номограмма



Индекс WRI_w



Индекс WRI_w

| Прогноз | Наблюдалось | | Сумма |
|-------------|-------------|-------------|-------|
| | Явление | Без явления | |
| Явление | 2 | 13 | 15 |
| Без явления | 2 | 136 | 138 |
| Сумма | 4 | 149 | 153 |

Номограмма Szilagyí

| Прогноз | Наблюдалось | | Сумма |
|-------------|-------------|-------------|-------|
| | Явление | Без явления | |
| Явление | 1 | 10 | 11 |
| Без явления | 3 | 139 | 142 |
| Сумма | 4 | 149 | 153 |

Не спрогнозированные случаи

10 ДЕКАБРЯ 2023 ГОДА В ПЕРИОД С 08.55 до 09.15 ЧАСОВ НА УЧАСТКЕ МАГРИ ВЕСЕЛОЕ (Г.СОЧИ) ПО ДАННЫМ СОТРУДНИКА ПЛЯЖА САНАТОРИЯ РАДУГА НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ УДАЛЕНИИ ОТ БЕРЕГА НАБЛЮДАЛИСЬ ЗАРОЖДАЮЩИЕСЯ СМЕРЧИ НАД МОРЕМ, **НЕ ДОСТИГШИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ**.

6 ФЕВРАЛЯ 2024 Г. ПО ДАННЫМ РАБОТНИКОВ ПЛЯЖА САНАТОРИЙ СОЧИ В 11.20-11.40 НАБЛЮДАЛСЯ ЗАРОЖДАЮЩИЙСЯ СМЕРЧ, **НЕ ДОСТИГШИЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ**.

| | WRI _w | Номо- грамма |
|----------------------------------|------------------|-----------------|
| Общая оправдываемость прогноза | 90% | 92% |
| Оправдываемость с явлением | 13% | 9% |
| Оправдываемость без явления | 99% | 98% |
| Предупрежденность с явлением | 50% | 25% |
| Предупрежденность без явления | 91% | 93% |
| Доля ложных прогнозов | 87% | 91% |
| Критерий Пирси-Обухова | 0.413 | 0.183 |
| Критерий Багрова-Хайдке | 0.177 | 0.099 |
| Индекс экстремальной зависимости | 0.557 | 0.322 |

Тестирование моделей классификации

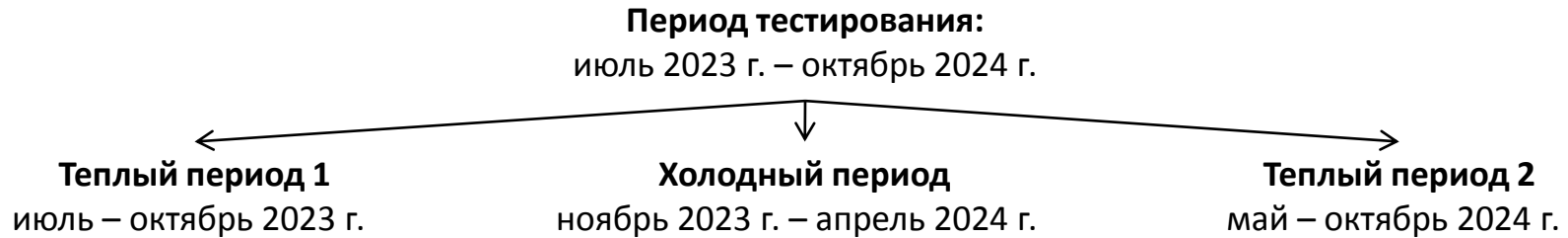


Схема тестирования:

- Подсчет общего количества конвективных систем, возникших у Черноморского побережья России (над морем) в зоне охвата ДМРЛ-С Краснодар и Сочи (Ахун).
- Анализ ложных срабатываний моделей: подсчет для каждой модели количества систем, которые как минимум дважды за время их жизни были отнесены к классу смерчеопасных.
- Анализ динамики присвоенных по моделям классов смерчеопасности для реальных систем со смерчами: успешным считается отнесение системы к классу смерчеопасных до момента регистрации смерча, но не ранее 2 часов до этого момента.
- Формирование таблиц сопряженности и расчет показателей качества работы моделей.
- Для сравнения проводился расчет показателей качества работы ранее предложенной пороговой схемы (ПС).

Тестирование моделей классификации

июль – октябрь 2023

| Класс DT | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 18 | 409 | 427 |
| W_- | 3 | 3616 | 3619 |
| Всего | 21 | 4025 | 4046 |

| Класс RF | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 15 | 614 | 629 |
| W_- | 6 | 3411 | 3417 |
| Всего | 21 | 4025 | 4046 |

| Класс LR | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 19 | 2382 | 2401 |
| W_- | 2 | 1643 | 1645 |
| Всего | 21 | 4025 | 4046 |

| Класс ПС | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 15 | 1099 | 1114 |
| W_- | 6 | 2926 | 2932 |
| Всего | 21 | 4025 | 4046 |

ноябрь 2023 – апрель 2024

| Класс DT | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 4 | 1090 | 1094 |
| W_- | 0 | 6190 | 6190 |
| Всего | 4 | 7280 | 7284 |

| Класс RF | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 3 | 939 | 942 |
| W_- | 1 | 6341 | 6342 |
| Всего | 4 | 7280 | 7284 |

| Класс LR | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 4 | 2873 | 2877 |
| W_- | 0 | 4407 | 4407 |
| Всего | 4 | 7280 | 7284 |

| Класс ПС | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 1 | 77 | 78 |
| W_- | 3 | 7203 | 7206 |
| Всего | 4 | 7280 | 7284 |

июль – октябрь 2024

| Класс DT | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 33 | 828 | 861 |
| W_- | 13 | 8749 | 8762 |
| Всего | 46 | 9577 | 9623 |

| Класс RF | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 28 | 1020 | 1048 |
| W_- | 18 | 8557 | 8575 |
| Всего | 46 | 9577 | 9623 |

| Класс LR | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 42 | 4632 | 4674 |
| W_- | 4 | 4945 | 4949 |
| Всего | 46 | 9577 | 9623 |

| Класс ПС | Смерчеобразующая система | | Всего |
|--------------|--------------------------|------|-------|
| | да | нет | |
| W_+ | 34 | 1930 | 1964 |
| W_- | 12 | 7647 | 7659 |
| Всего | 46 | 9577 | 9623 |

Тестирование моделей классификации

| Модель | Модель DT | | | Модель RF | | | Модель LR | | | Пороговая схема | | |
|------------------------------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | ТП1 | ХП | ТП2 | ТП1 | ХП | ТП2 | ТП1 | ХП | ТП2 | ТП1 | ХП | ТП2 |
| Предупрежденность с явлением, % | 86 | 100 | 72 | 71 | 75 | 61 | 91 | 100 | 91 | 71 | 25 | 74 |
| Вероятность ложного обнаружения, % | 10 | 15 | 9 | 15 | 13 | 11 | 60 | 40 | 48 | 27 | 1 | 20 |
| Критерий Пирси-Обухова | 0.756 | 0.850 | 0.631 | 0.562 | 0.621 | 0.502 | 0.313 | 0.605 | 0.429 | 0.441 | 0.239 | 0.538 |
| Критерий Багрова-Хайдке | 0.071 | 0.006 | 0.064 | 0.037 | 0.005 | 0.042 | 0.006 | 0.002 | 0.008 | 0.016 | 0.023 | 0.025 |
| Индекс экстремальной зависимости | 0.874 | 1 | 0.761 | 0.696 | 0.754 | 0.637 | 0.680 | 1 | 0.777 | 0.588 | 0.533 | 0.683 |

ТП1: июль – октябрь 2024 г.

ХП: ноябрь 2023 г. – апрель 2024 г.

ТП2: май – октябрь 2024 г.

- В теплые периоды смерчи чаще всего (в 60-70% случаев) возникали из систем с продолжительностью жизни более четырех часов. Для таких систем модели классификации и пороговая схема выявляли опасность смерчеобразования за 1-2 ч до возникновения смерча.
- По сравнению с ранее разработанной пороговой схемой классификации конвективных систем классификация на основе моделей машинного обучения показывает более высокие результаты по предупрежденности (заблаговременному отнесению системы к классу смерчеобразующих систем), позволяя при этом достичь более низкой доли ложных срабатываний (за исключением модели LR). В целом судя по комплексному критерию успешности работы моделей – индексу экстремальной зависимости, новые модели, в которых в том числе учтены особенности процессов смерчеобразования, являются эффективной заменой более простой пороговой схемы, особенно в холодный период, когда используемые в этой схеме пороги радиолокационных характеристик систем не всегда достигаются.
- Среди трех моделей наилучшие результаты с точки зрения соотношения предупрежденности смерчеобразующих систем и доли ложных срабатываний (индекс экстремальной зависимости) показывает модель DT. Из условных 10 систем со смерчами она позволяет заблаговременность распознать 7-8 систем. При этом вероятность ложного распознавания не превышает 15%.

Заключение

- В нашей стране наиболее смерчопасным регионом является Черноморское побережье. Смерчи над Черным морем в основной своей массе возникают в теплый период года с мая по октябрь. В холодный период они также возможны, но частота их возникновения существенно ниже, чем в теплый. Смерчи могут выходить на сушу в течение всего года. Смерчи распределены по побережью неравномерно, чаще всего их фиксируют на участке от Туапсе до Сочи (влияние рельефа).
- На базе НПО «Тайфун» в оперативном режиме с 2017 г. функционирует технология прогноза смерчопасности вблизи Черноморского побережья России. Это первое известное в практике Росгидромета решение по построению в автоматическом режиме прогнозов смерчеобразования в прибрежной акватории Черного моря. Технология доказала свою состоятельность по результатам независимых испытаний в 2019 г. В настоящее время она **используется** в оперативной работе СЦГМС ЧАМ и Северо-Кавказского УГМС.
- С 2020 г. проводятся работы по усовершенствованию методики прогноза смерчопасности по двум основным направлениям:
 - ✓ Повышение качества краткосрочного прогноза. Разработана усовершенствованная версия расчета регионального индекса смерчопасности WRI_{21} для теплого периода года. Предупрежденность смерчей на его основе варьируется от 75 до 92%. Взамен ранее использованной номограммы Szilagyi разработан вариант расчета индекса WRI_w для холодного периода года, который позволяет более точно локализовать зоны риска смерчей и предупреждать большее их количество. В вопросах прогноза смерчопасности пока остается нерешенной проблема высокой доли ложных прогнозов, она, как известно, носит глобальный характер (в США значение этого показателя доходит до 75%!).
 - ✓ Повышение качества распознавания смерчеобразующих систем. Взамен ранее используемой пороговой схемы на базе подхода к машинному обучению построены модели классификации конвективных систем. Первые результаты их работы выглядят вполне приемлемыми: из 10 систем со смерчами заблаговременно помечаются как смерчопасные 7-8 систем, при этом заблаговременность в пределе может доходить до 2 ч. Как и в случае с прогнозом, присутствуют ложные срабатывания. По полученным оценкам вероятность такого исхода для наилучшей модели может варьироваться от 9 до 15%.

Спасибо за внимание

