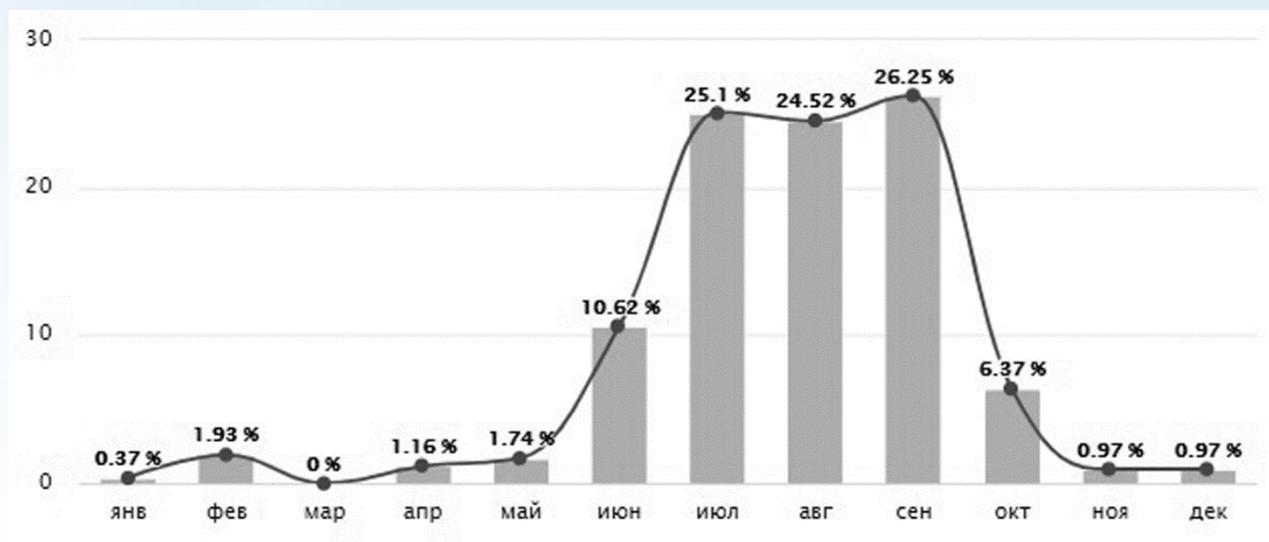




**Прогноз угроз возникновения смерчей  
вблизи Черноморского побережья России  
на базе выходной продукции  
мезомасштабной модели COSMO-Ru2 с  
использованием регионального индекса  
смерчеопасности**

**Калмыкова О.В.  
ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск**

# Водяные смерчи над Черным морем



# Водяные смерчи над Черным морем



# Благоприятные условия для формирования водяных смерчей

- сильная конвективная неустойчивость, приводящая к образованию быстро растущих облаков
- вертикальная завихренность в приводном слое, возникающая на линиях конвергенции воздушных потоков или вследствие морских бризов
- небольшой вертикальный сдвиг ветра

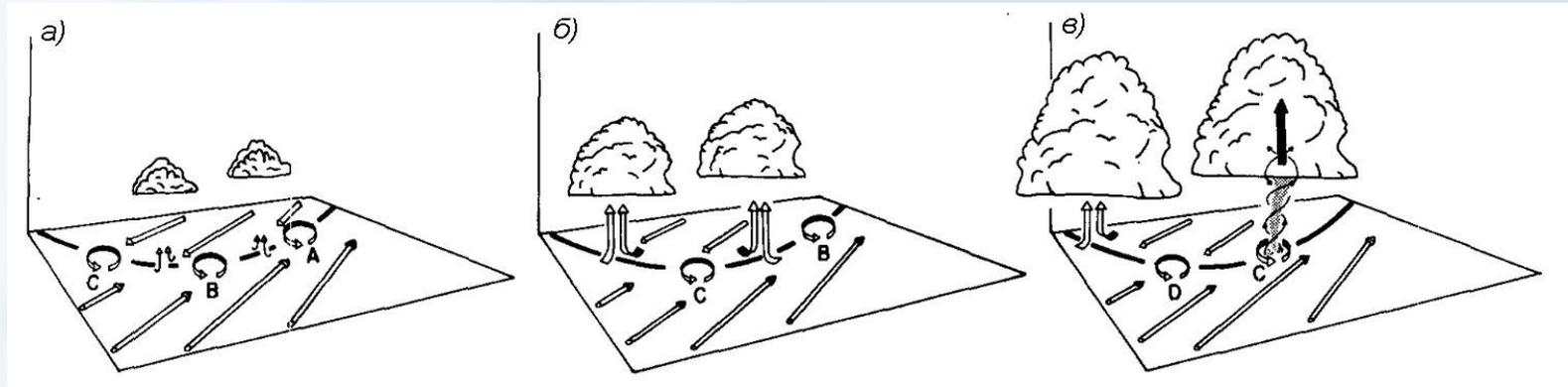
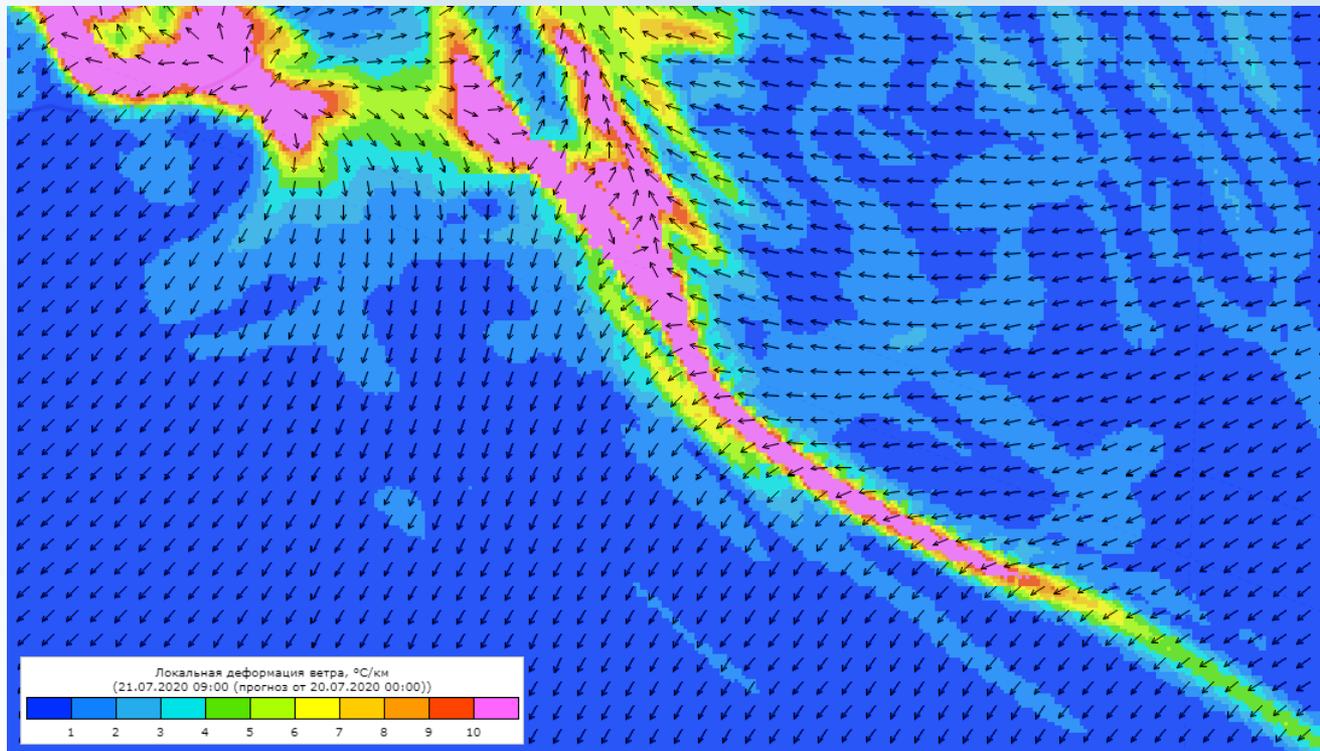


Схема формирования немезоциклонного смерча  
R.M. Wakimoto, J.W. Wilson

# Предикторы водяных смерчей

- $DT_1$  – разность температур поверхности моря и воздуха на уровне 1 км ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $DD_{10}$  – локальная деформация ветра на уровне 10 м ( $^{\circ}/\text{км}$ )
- $RH_1$  – 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)).



## Индекс смерчопасности WRI

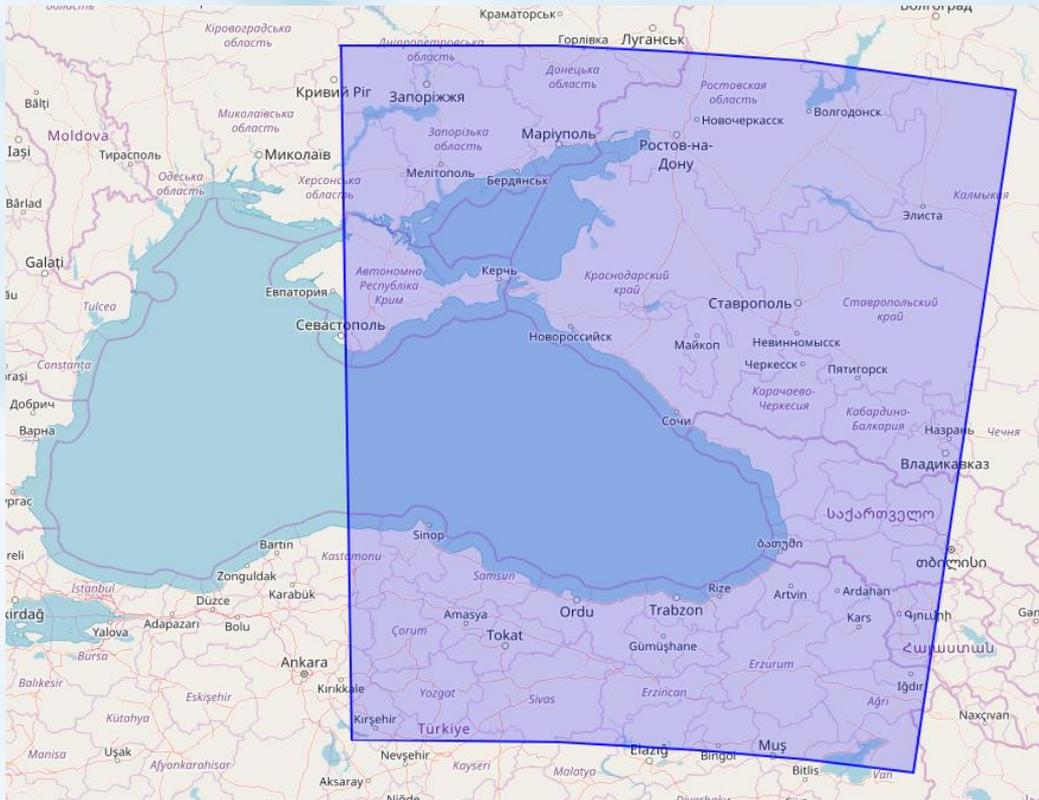
Формула расчета индекса WRI включает в себя нормированную сумму вкладов от шести рассматриваемых предикторов

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

Вклад от предиктора считается положительным (в числовом выражении соответствует единице), если значение предиктора в зависимости от его класса либо больше, либо меньше установленного порога. В противном случае вклад является нулевым. Вклад от предикторов  $DU_1$  и  $S_1$  учитывается только в том случае, если по всем смерчеобразующим предикторам ( $DT_1$ ,  $DD_{10}$ ,  $RH_1$ ,  $CD$ ) фиксируются превышения порогов.

Пороговые значения предикторов получены по результатам анализа случаев смерчей за 2014-2016 гг.

# Модель COSMO-Ru2



Шаг сетки – 2.2 км

Шаг по времени – 1 ч

Заблаговременность прогноза – до 42 ч

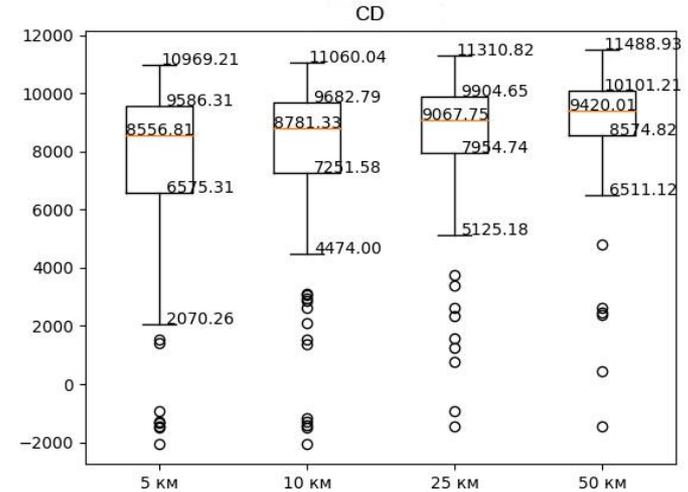
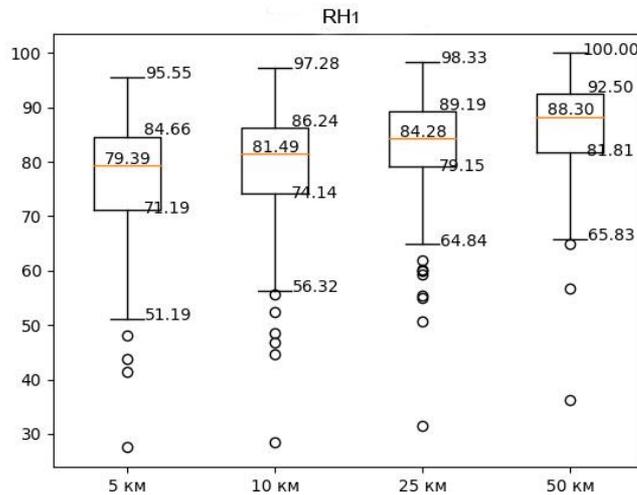
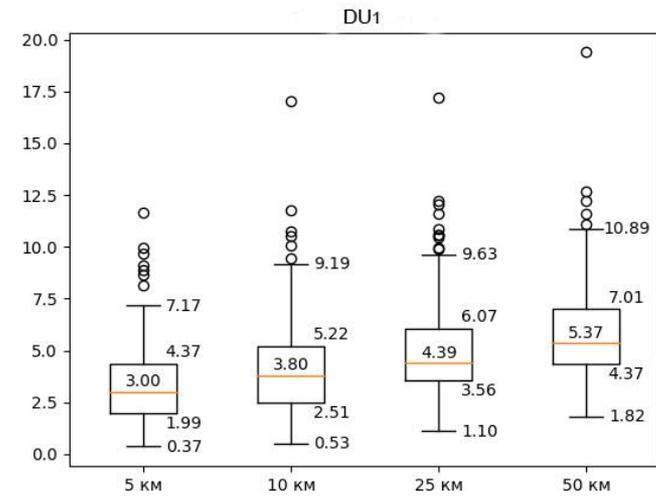
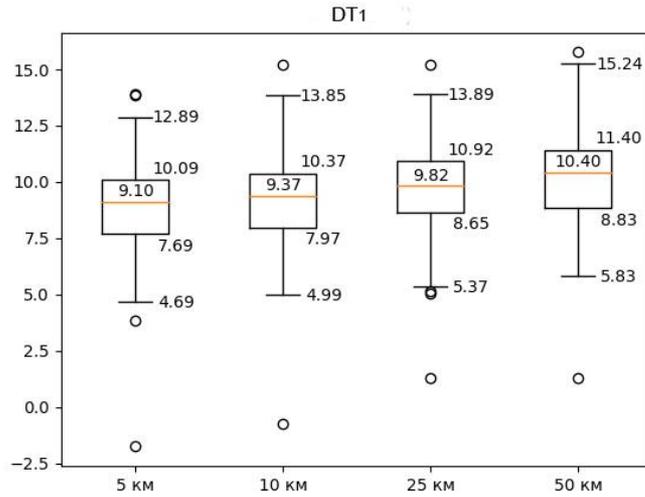
Прием данных – два раза в сутки (счет от 00:00 и 12:00 по ВСВ)



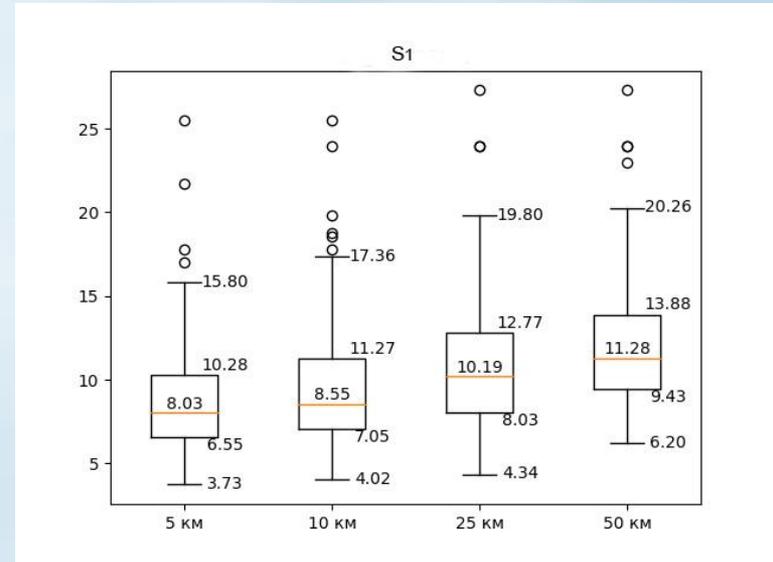
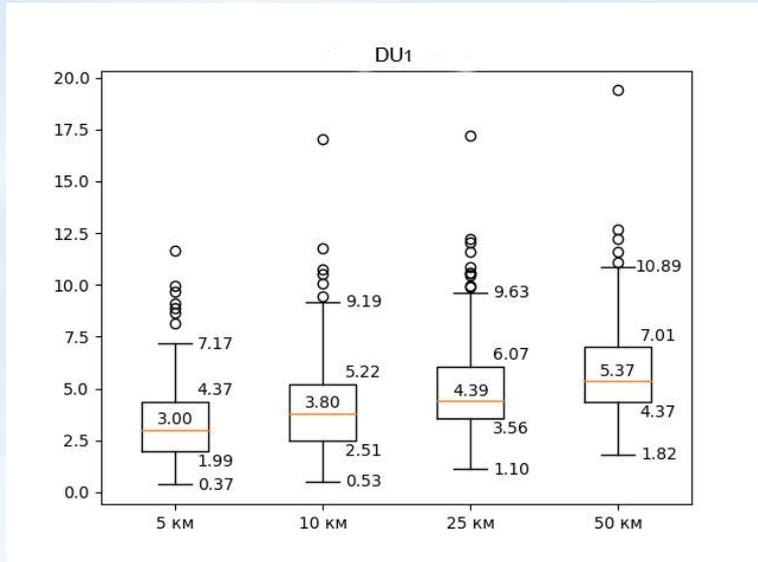
## Работы по усовершенствованию индекса WRI

- Сформирована новая выборка значений предикторов смерчей
  - ✓ исходные данные – прогнозы COSMO-Ru2 (шаг сетки 2.2 км)
  - ✓ период – с 2017 по 2020 гг.
  - ✓ объем выборки – 136 случаев
- Применен новый подход к выборке пороговых значений предикторов
  - ✓ сбор статистики по каждому предиктору в окрестностях различного радиуса: 5, 10, 25, 50 км от места регистрации смерча
  - ✓ определение диапазонов значений предикторов, исключая возможные выбросы
  - ✓ для каждого рассматриваемого случая в пределах полученных диапазонов поиск частных порогов предикторов с учетом их совместного распределения
  - ✓ обобщение частных порогов по всем случаям – выбор порогового значения для каждого предиктора
- Выявлены две разновидности условий, при которых возникали смерчи
  - ✓  $DT_1 > 8.5^\circ$ ,  $CD > 6$  км (термическая конвекция)
  - ✓  $DT_1 > 6^\circ$ ,  $CD > 9$  км (конвекция на фронтах)
- Предложена новая формула расчета индекса WRI.
- Проведена доработка действующей технологии оценки смерчеопасности в части организации оперативных расчетов прогнозов смерчей по усовершенствованному индексу.

# Статистика по предикторам



# Статистика по предикторам



## Частные пороги предикторов (пример для 2 случаев)

DT <sub>1</sub>	DD <sub>10</sub>	RH <sub>1</sub>	CD	DU <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>
12	23	82	7522	3,5	4,5
7	12	78	9296	2,5	7,5

# Индекс смерчопасности WRI

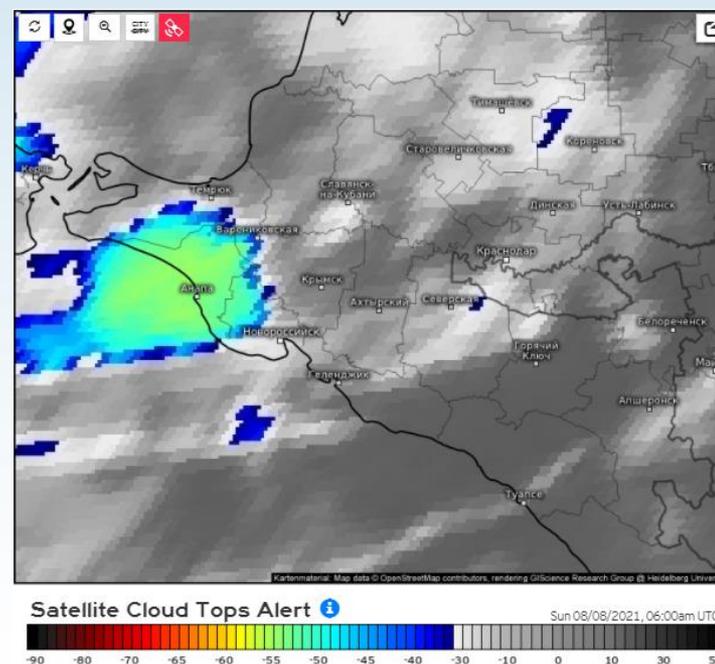
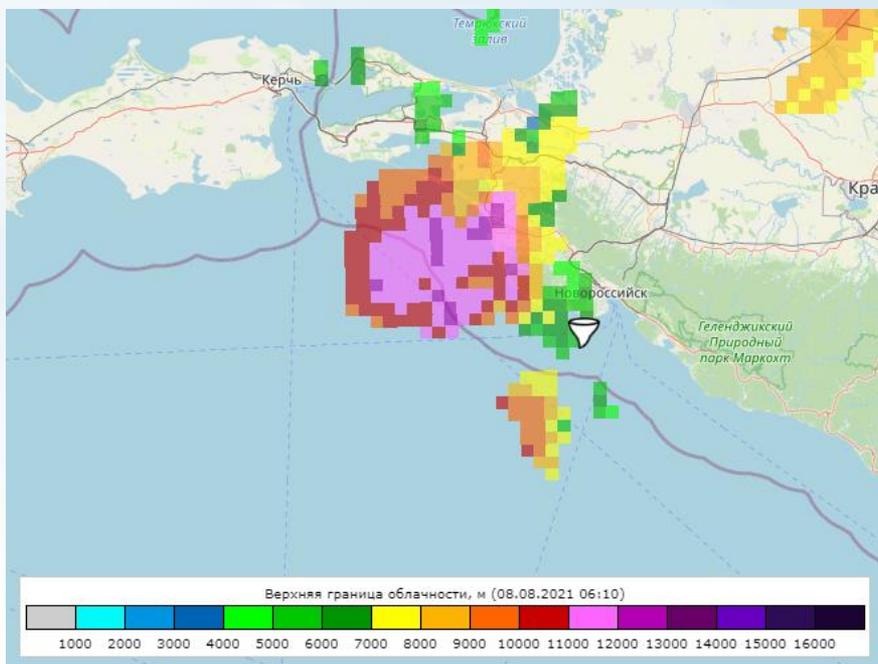
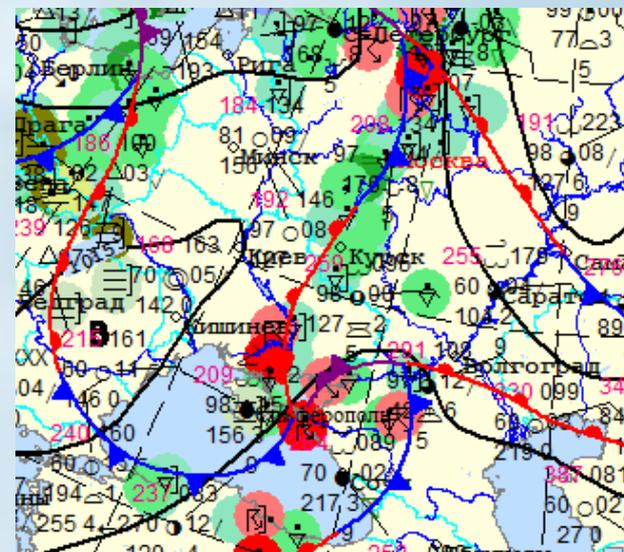
Исходная формула расчета индекса  
(выборка смерчей за 2014-2016 гг.)

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

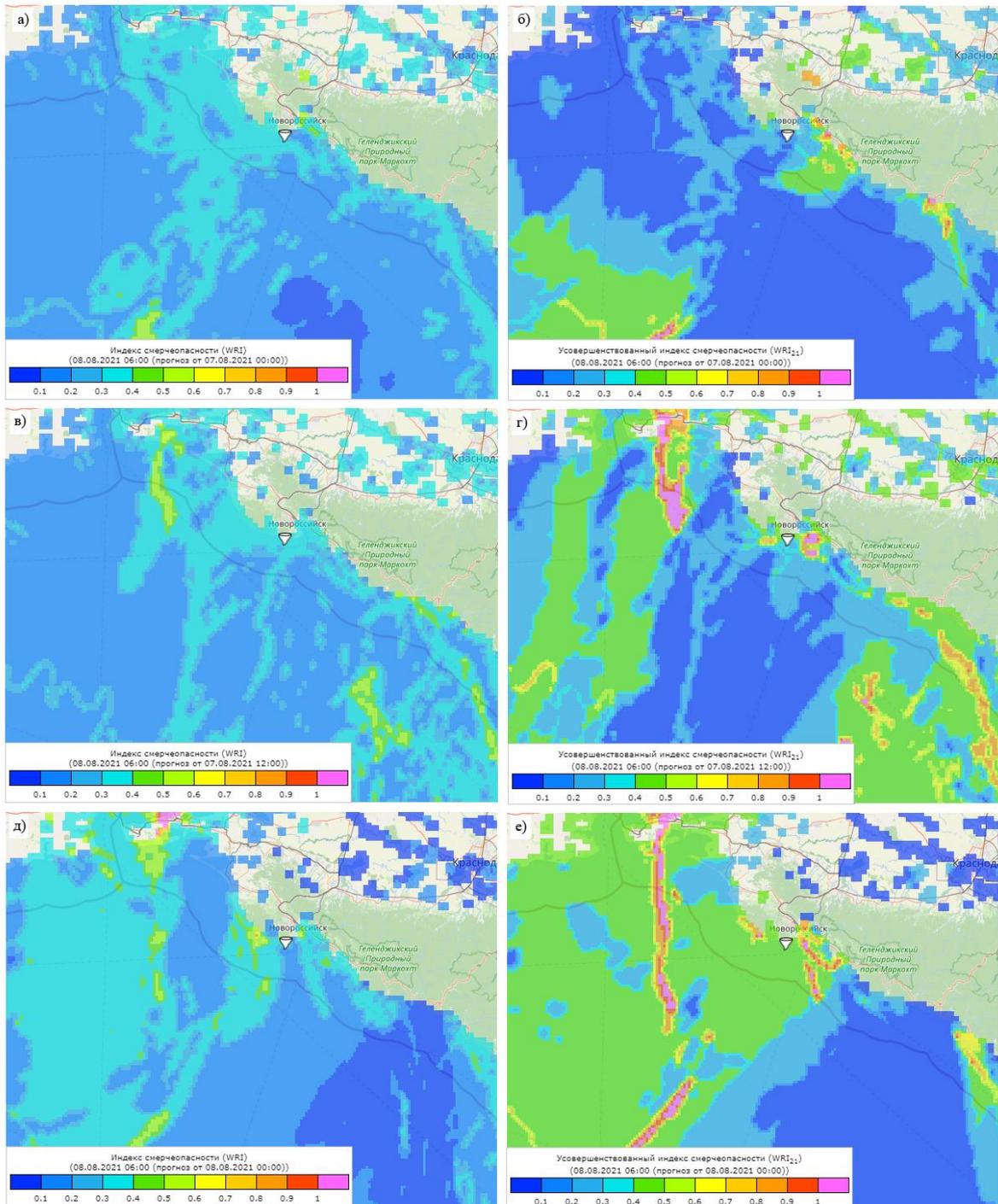
Усовершенствованная формула расчета индекса  
(выборка смерчей за 2017-2020 гг., новый подход к выбору пороговых значений)

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

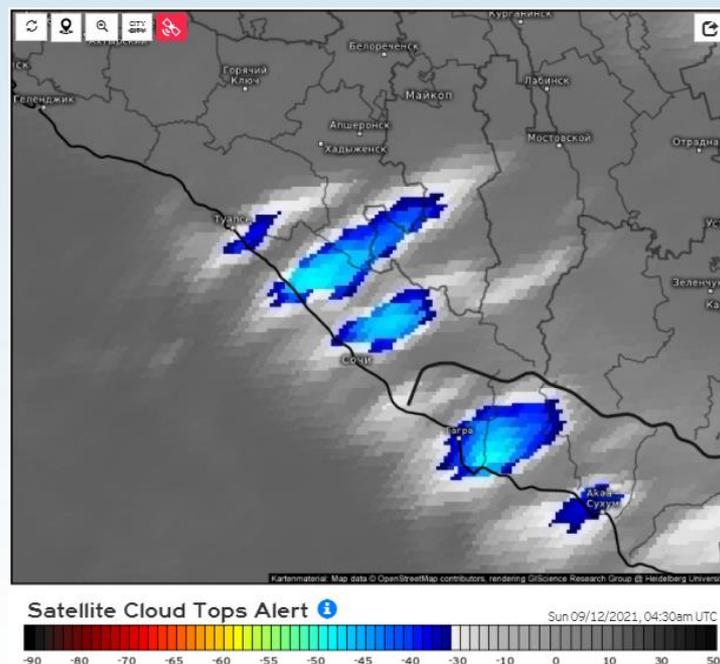
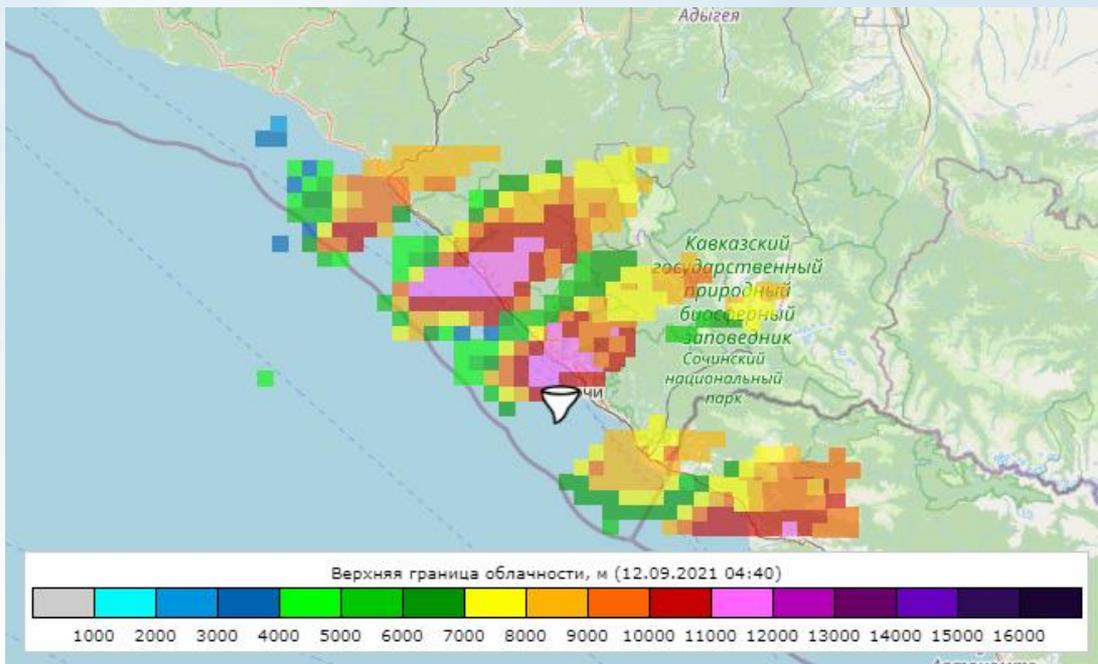
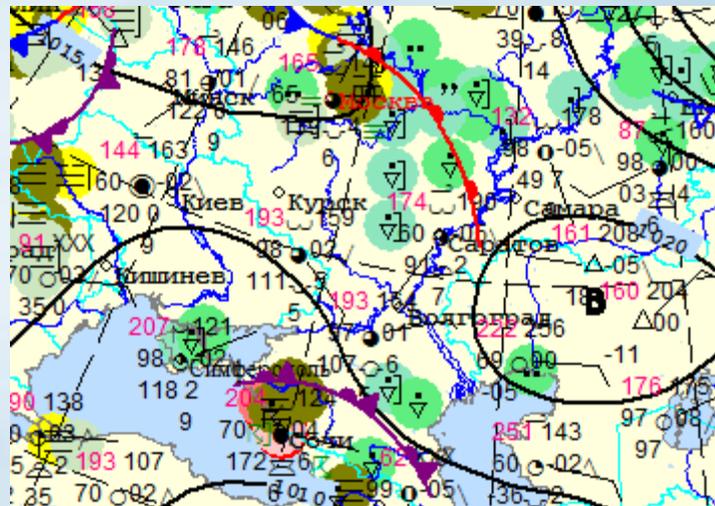
# Смерч 8 августа 2021 г. вблизи с. Широкая Балка



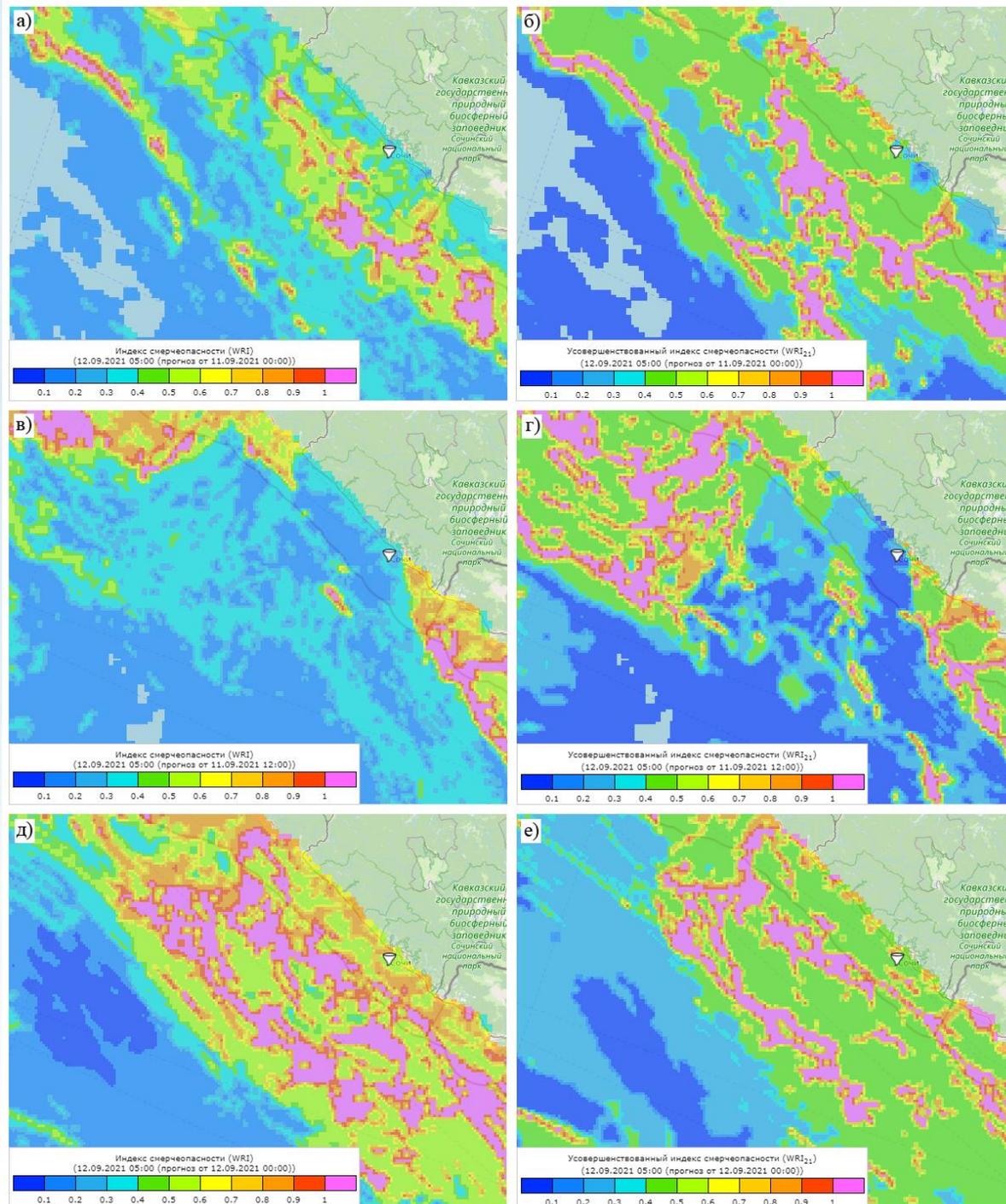
**Прогностические поля индексов WRI (слева) и WRI<sub>21</sub> (справа) различной заблаговременности счета (сверху вниз: 24 ч, 12 ч и 0 ч) в момент регистрации смерча вблизи с. Широкая Балка**



# Смерч 12 сентября 2021 г. вблизи г. Сочи



**Прогностические поля индексов WRI (слева) и WRI<sub>21</sub> (справа) различной заблаговременности счета (сверху вниз: 24 ч, 12 ч и 0 ч) в момент регистрации смерча вблизи г. Сочи**



# Заключение

- Смерчи – сложное, до конца не изученное, опасное метеорологическое явление. Наибольшая плотность смерчей в нашей стране приходится на прибрежную акваторию Черного моря.
- Известные индексы прогноза смерчей в черноморском регионе в летний период дают большое количество ложных тревог. По этой причине в 2017 г. был разработан новый региональный индекс смерчеопасности WRI.
- В ходе непрерывных испытаний была подтверждена достаточно высокая прогностическая значимость индекса WRI: предупрежденность смерчей доходит до 85%, оправдываемость с явлением до 43%, критерий Багрова-Хайдке до 0.441, доля ложных прогнозов до 71%.
- В 2021 г. были проведены работы по усовершенствованию индекса WRI. На базе архивных прогнозов COSMO-Ru2 сформирована выборка значений предикторов черноморских смерчей за период с 2017 по 2020 гг. Применен новый подход к выбору пороговых значений предикторов, позволивший выделить две разновидности условий возникновения смерчей (термическая конвекция и конвекция на фронтах с крайне мощными по вертикали облаками). Предложена новая формула расчета индекса WRI, которая, как было установлено, позволяет уменьшить количество неспрогнозированных случаев смерчей.

Спасибо за внимание!

