



**Типизация условий возникновения смерчей
над морями и внутренними водами России**

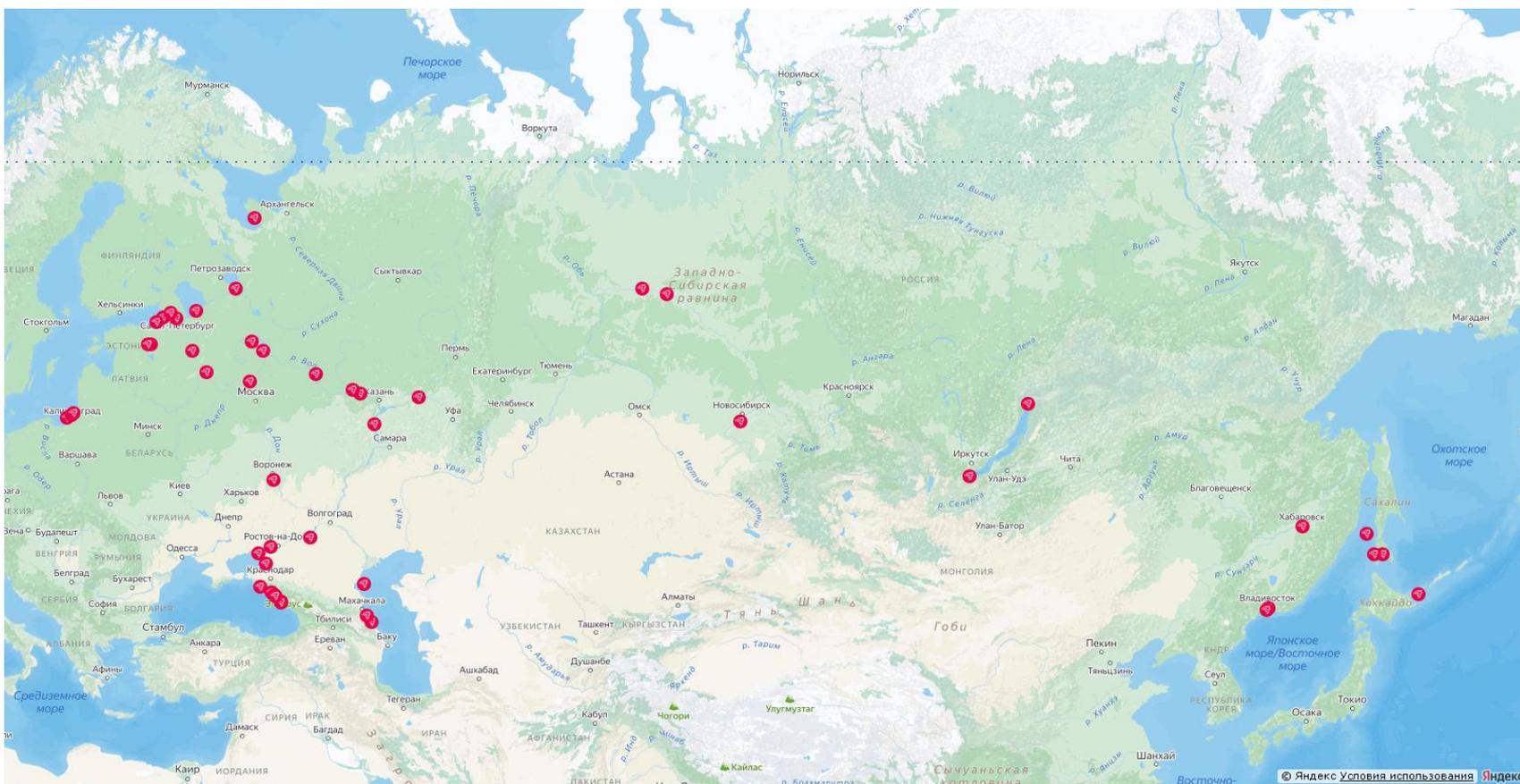
Калмыкова О.В
НПО «Тайфун»
ИФА им. А.М. Обухова РАН

Цель работы

Анализ условий возникновения водяных смерчей в России с целью их типизации.

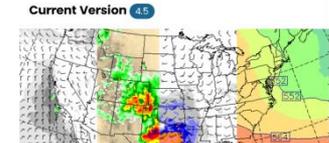
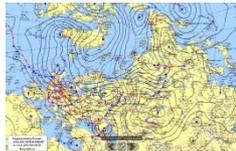
Для анализа были отобраны 48 случаев регистрации смерчей за последние 10 лет над морями (Черное, Азовское, Балтийское, Каспийское, Японское, Охотское, Белое) и внутренними водами России (реки Амур, Волга, Молога, Кама, Обь; озера: Онежское, Ладожское, Байкал, Селигер, Ильмень, Чудское; водохранилища: Нововоронежское, Иваньковское, Горьковское, Новосибирское, Сургутское, Куйбышевское, Рыбинское, Цимлянское).

Работа выполнялась в рамках проекта Российского научного фонда (№ 22-27-00039).



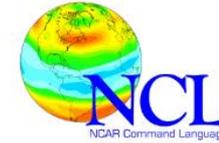
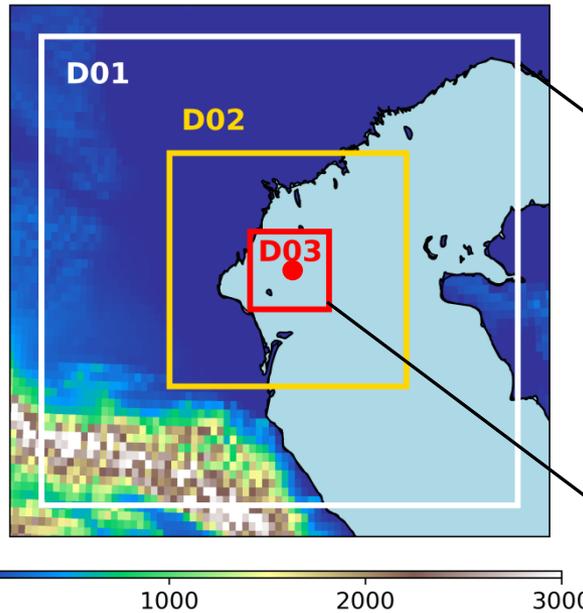
Исходные данные

- записи Европейской базы данных о водяных смерчах (ESWD), подтвержденные данными из надежных источников;
- синоптические карты приземного анализа Гидрометцентра России и зарубежных метеослужб;
- аэрологические данные (15 случаев);
- данные окончательного анализа центра NCEP с разрешением 0.25 и 1° (NCEP GDAS/FNL);
- данные о температуре поверхности воды центра CMC с разрешением 0.1° (CMC0.1deg-CMC-L4-GLOB);
- результаты моделирования по WRF-ARW v4.5 на 45 вертикальных уровнях; проводилось прямое моделирование конвекции с использованием вложенных сеток (9 км, 3 км, 1 км) с учетом данных о температуре поверхности воды, период моделирования – около 24 ч до момента регистрации смерча.

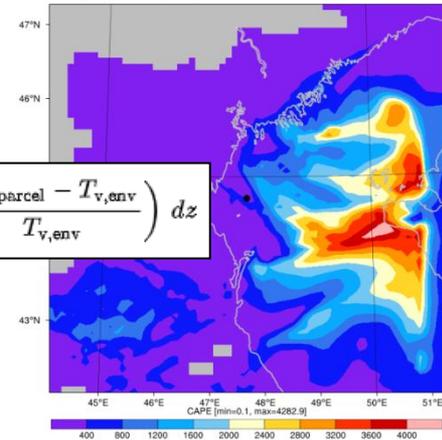


Моделирование по WRF-ARW v4.5 и постпроцессинг

Расчетная область



mcape ; mcin ; lcl ; lfc



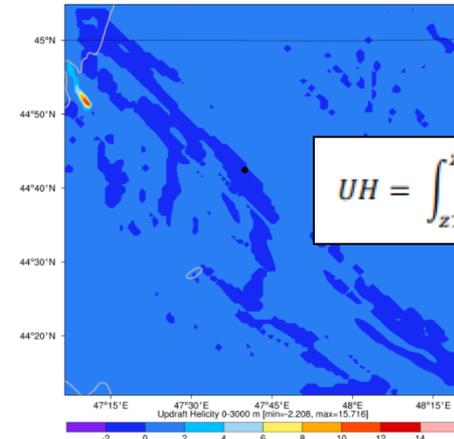
$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} \right) dz$$

Параметризация

mp_physics	Thompson
ra_lw_physics	RRTMG scheme
ra_sw_physics	RRTMG shortwave
sf_sfclay_physics	Monin-Obukhov (Janjic Eta) scheme
sf_surface_physics	Noah Land Surface Model
bl_pbl_physics	Mellor-Yamada-Janjic scheme
cu_physics	0
sst_update	1

Updraft Helicity

m-2/s-2



$$UH = \int_{z_1}^{z_2} w \zeta dz$$

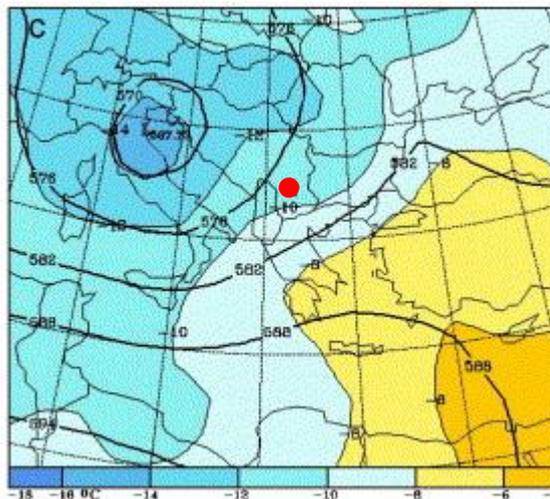
19.08.2023 г.
Месторождение им.
Филановского,
Каспийское море



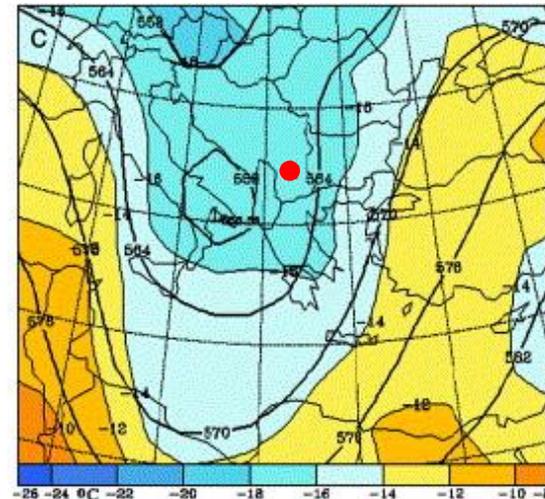
Типизация по шаблону атмосферной циркуляции на 500 гПа

В работе [Sioutas M.V. Keul A.G. Waterspouts of the Adriatic, Ionian and Aegean Sea and their meteorological environment // Atmos. Res. 83, 2007, p. 542-557] предложена схема типизации синоптических условий, благоприятных для образования водяных смерчей, опирающаяся на анализ циркуляции атмосферы на 500 гПа, положение и ориентацию осей барических ложбин. В соответствии с данной схемой можно выделить четыре наиболее часто встречающихся шаблона.

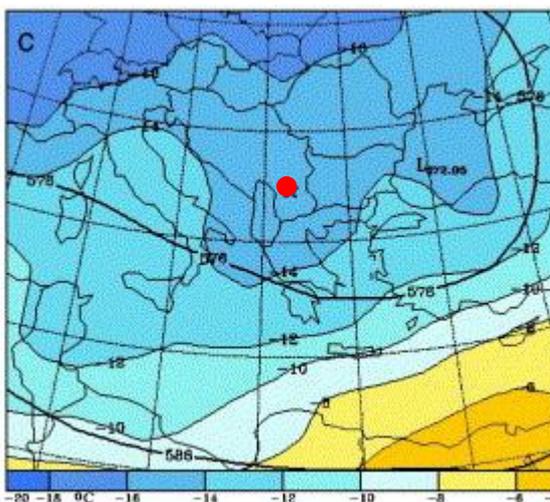
Closed Low (CLOSED) – высотный циклон с замкнутой изобарой



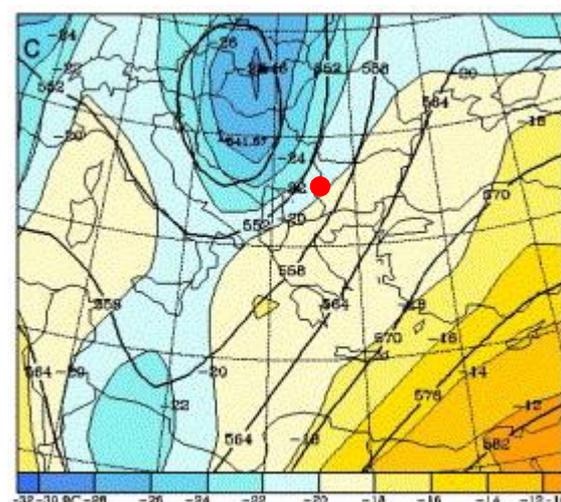
Long-wave trough (LW) – длинная вытянутая ложбина



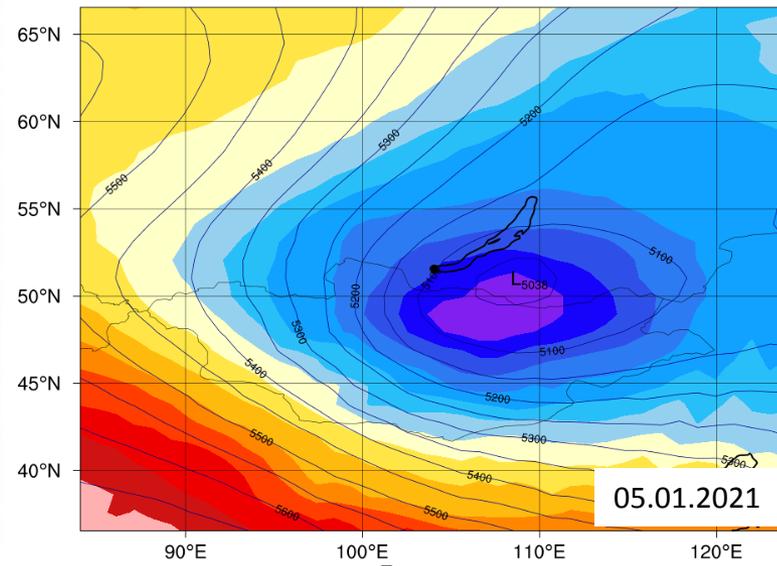
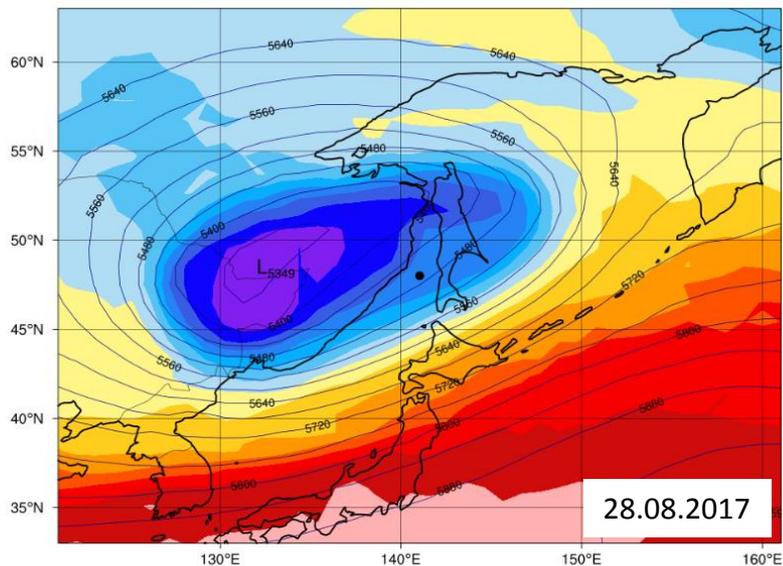
Short-wave trough (SWT) – короткая ложбина



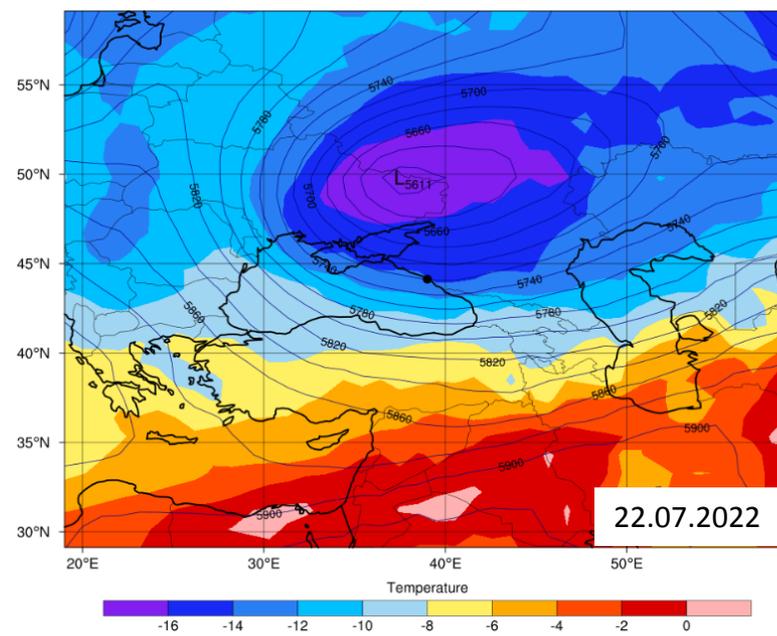
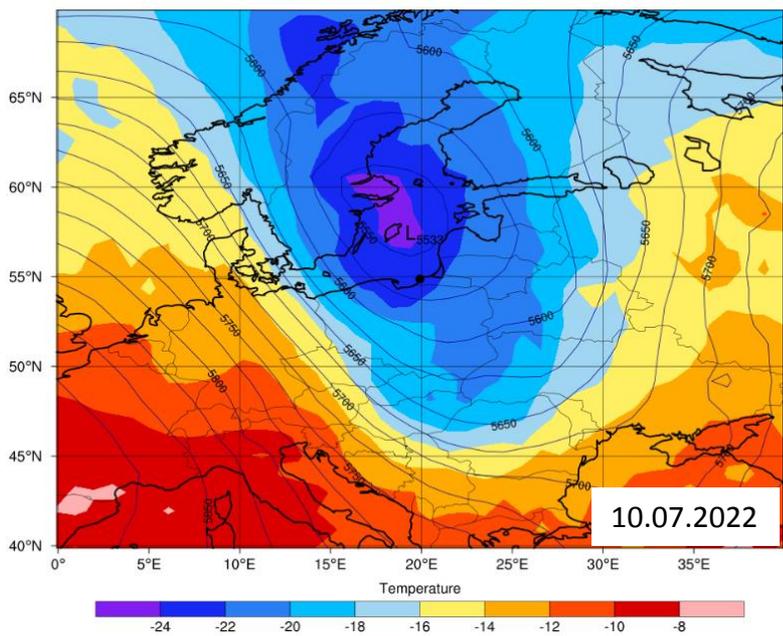
South-west flow (SW) – юго-западный поток



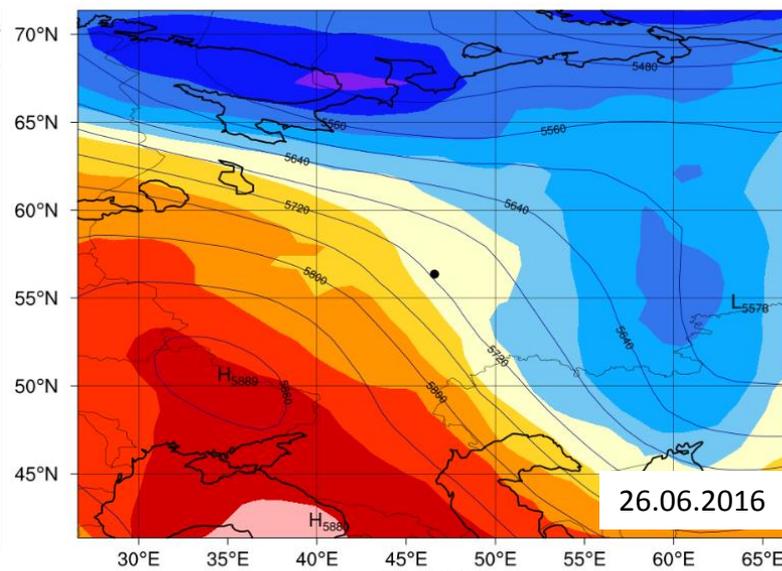
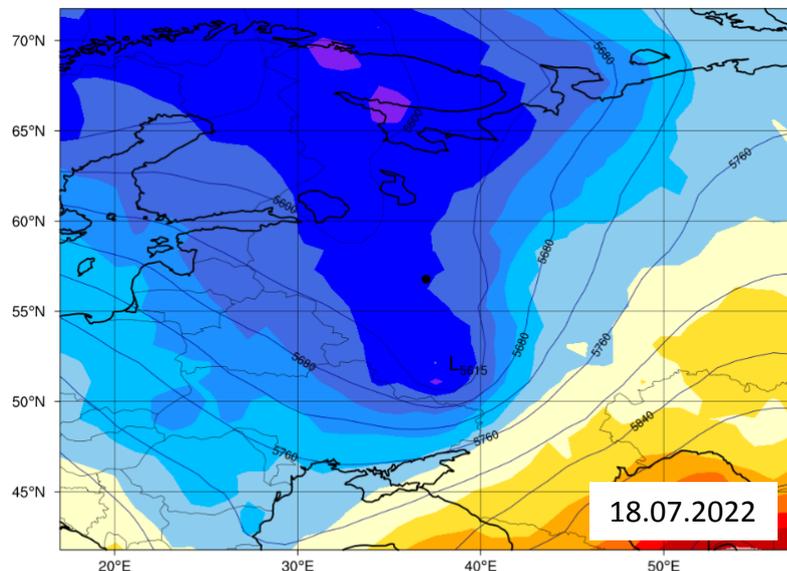
Типизация по шаблону атмосферной циркуляции на 500 гПа



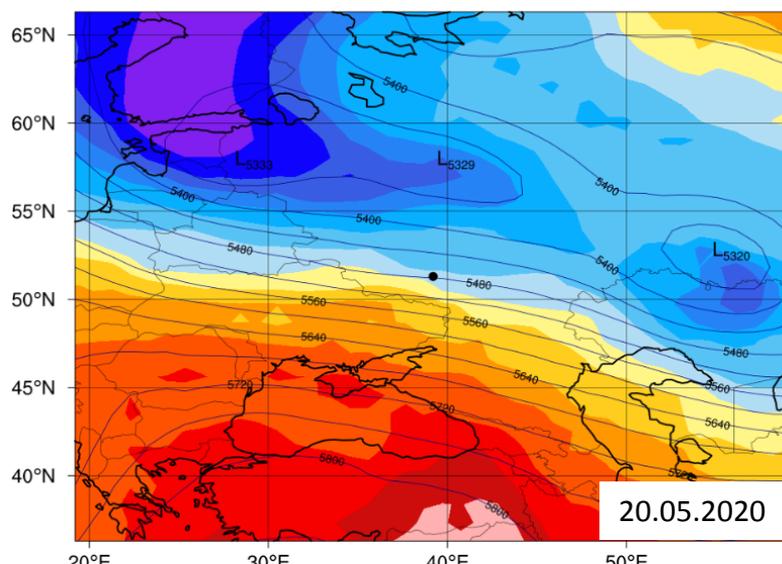
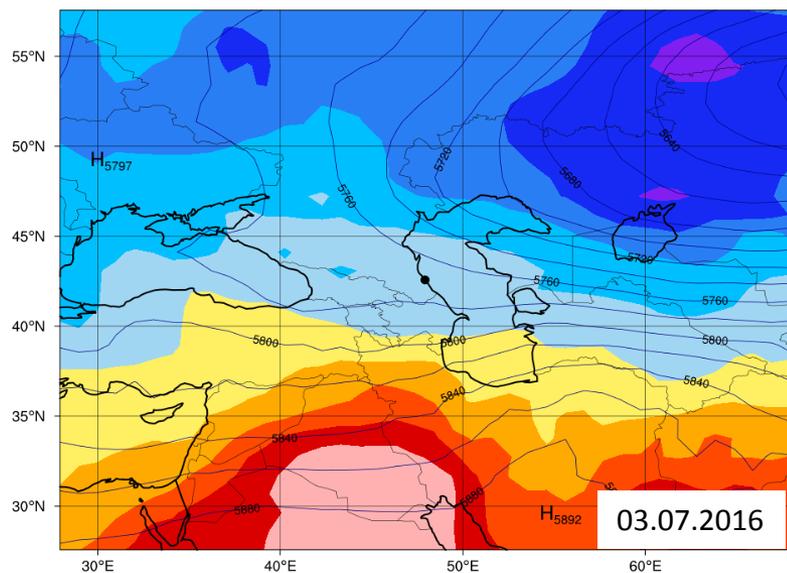
CLOSED
29 случаев
60%



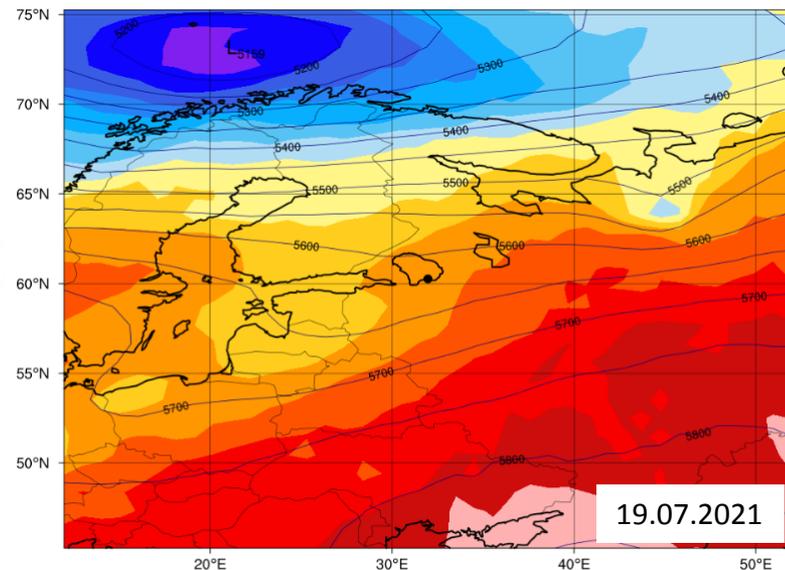
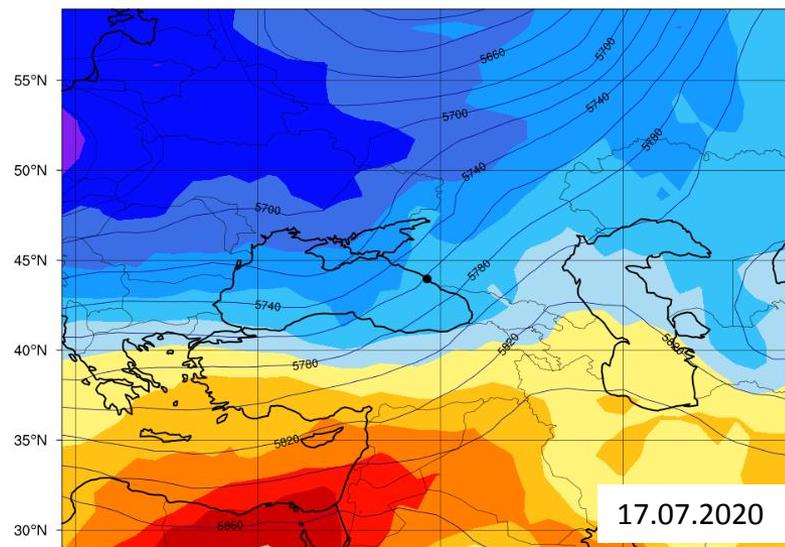
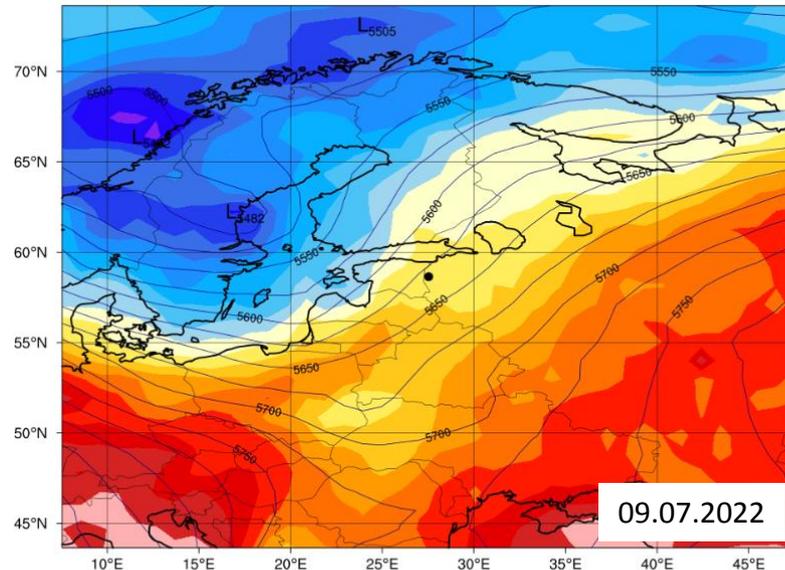
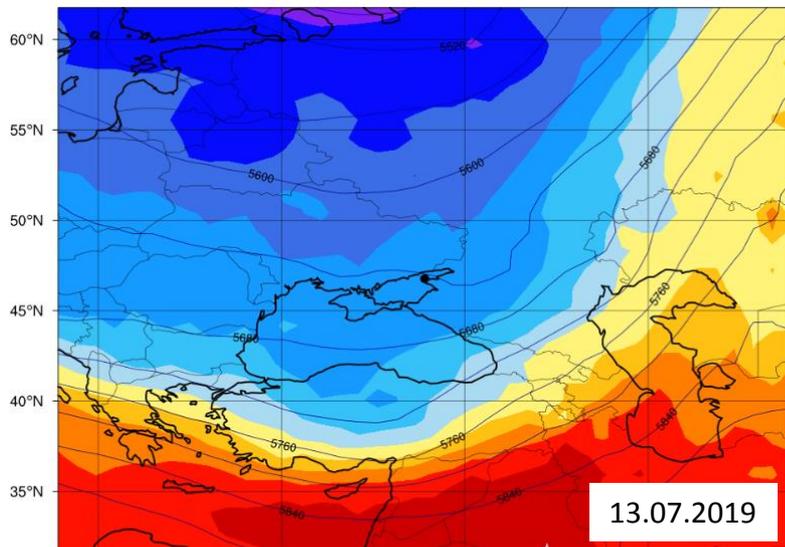
Типизация по шаблону атмосферной циркуляции на 500 гПа



LW
10 случаев
21%

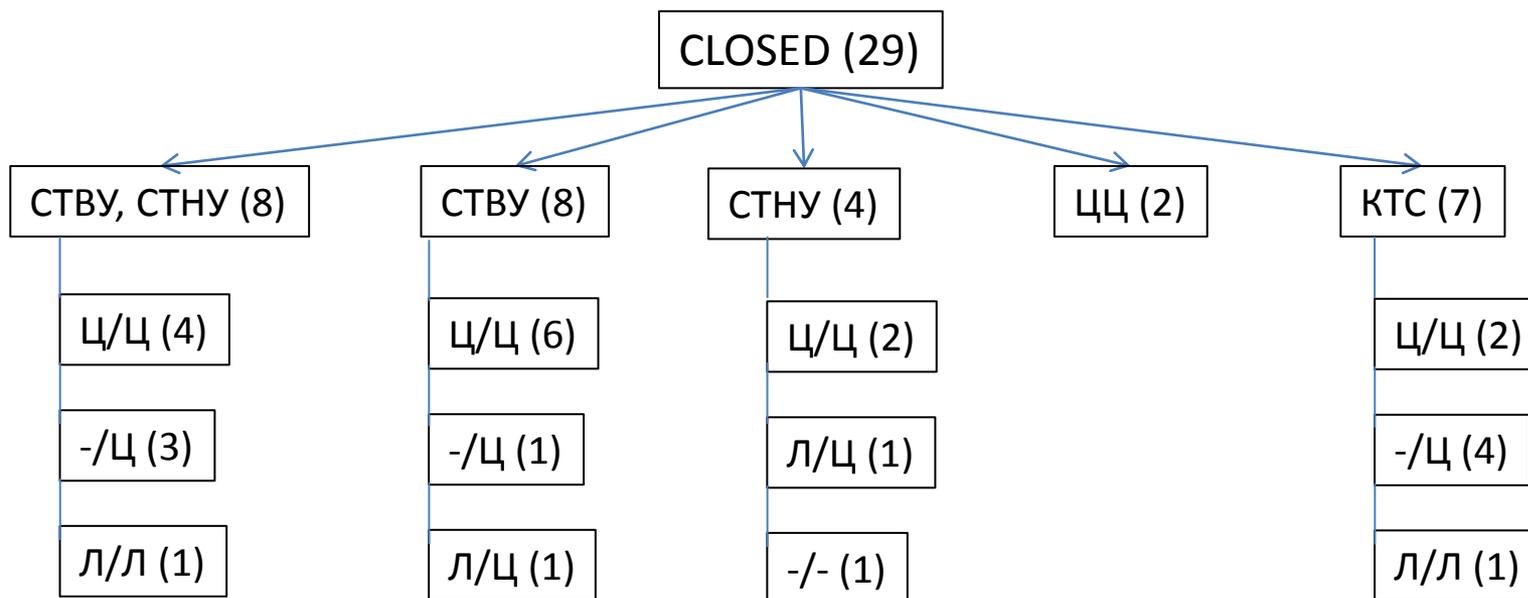


Типизация по шаблону атмосферной циркуляции на 500 гПа



SWT
9 случаев
19%

Подтипизация по шаблону атмосферной циркуляции на 200 гПа/850 гПа/SFC



СТВУ – струйное течение верхнего уровня

СТНУ – струйное течение нижнего уровня

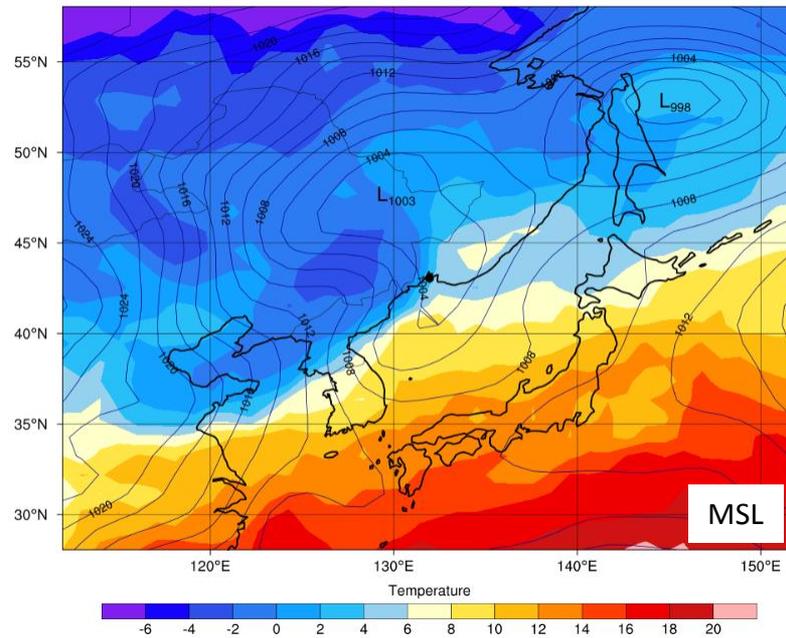
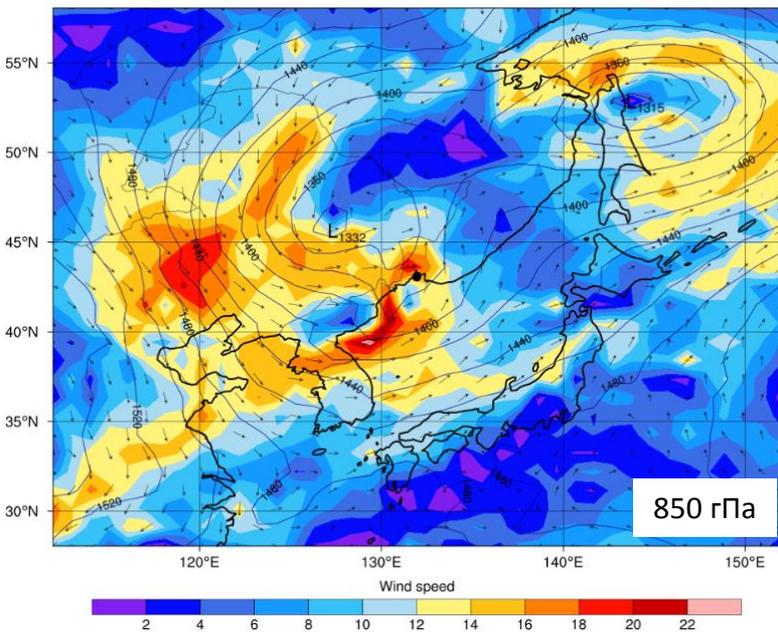
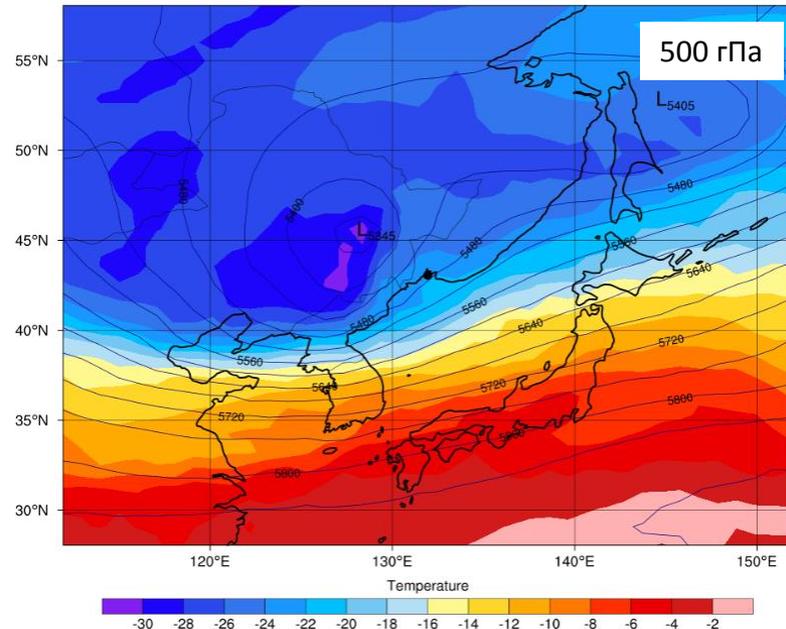
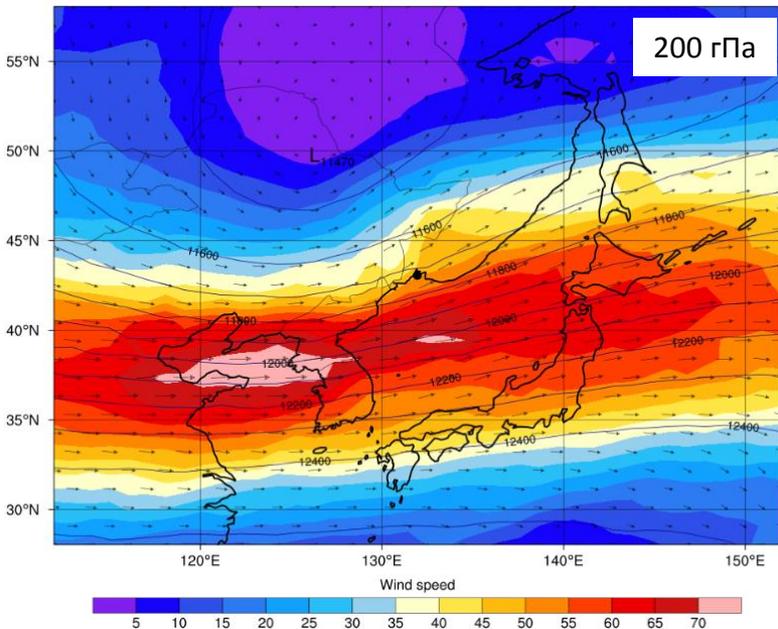
Ц – циклон

Л – ложбина

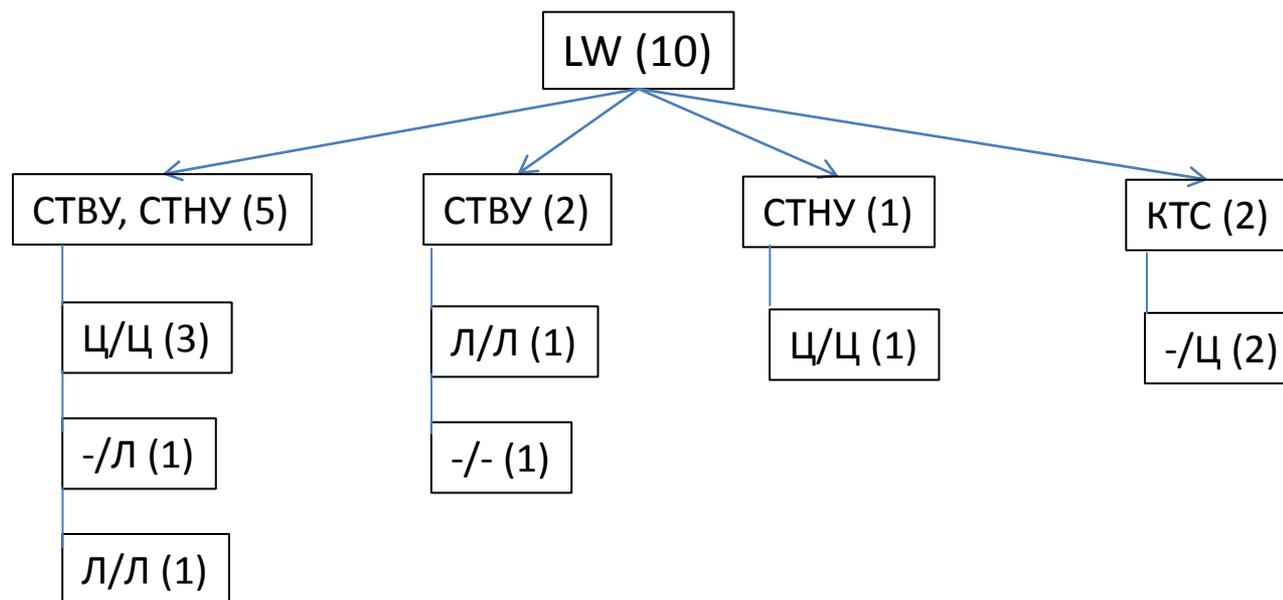
КТС – контрасты температуры и скорости ветра

А/В: А – циркуляция у поверхности земли, В – циркуляция на 850 гПа

Водяной смерч 04.10.2020 в бухте Патрокл (CLOSED/СТВУ/СТНУ/Ц)



Подтипизация по шаблону атмосферной циркуляции на 200 гПа/850 гПа/SFC



СТВУ – струйное течение верхнего уровня

СТНУ – струйное течение нижнего уровня

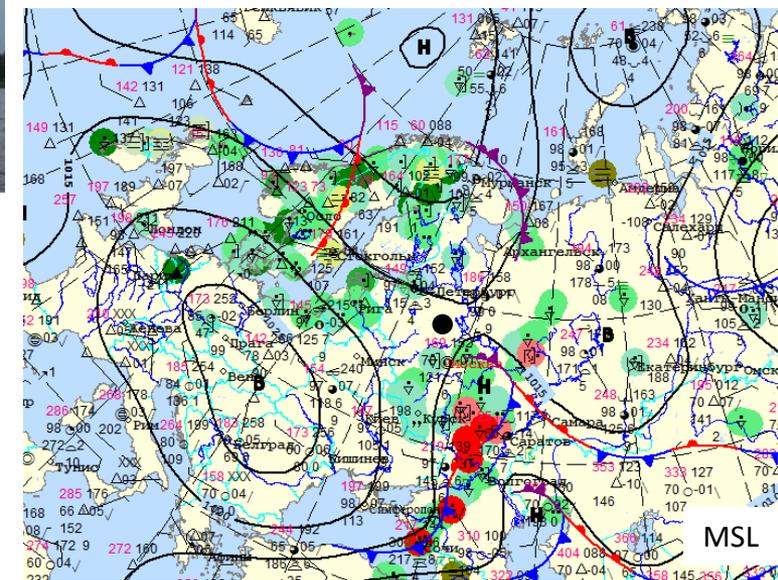
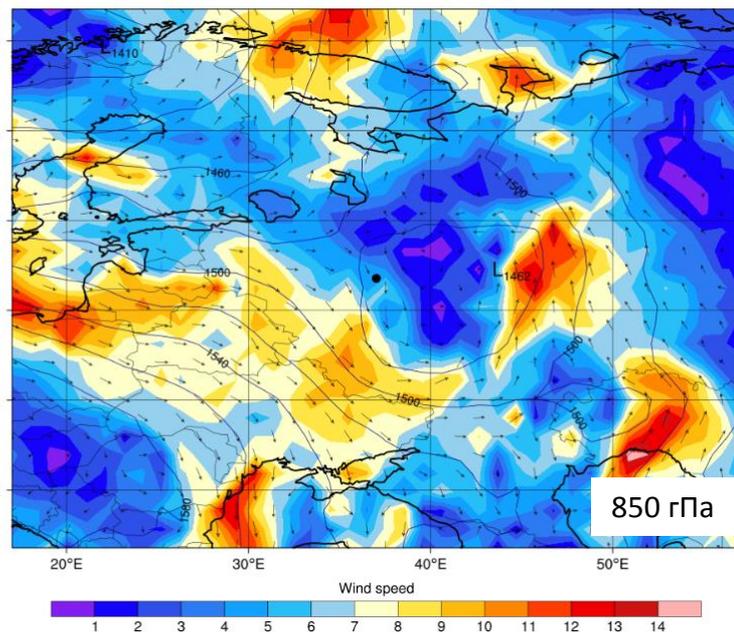
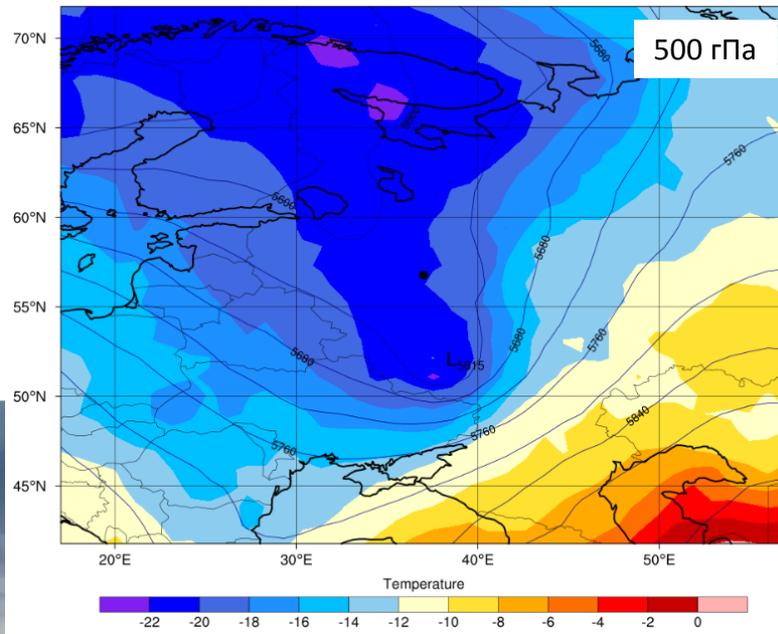
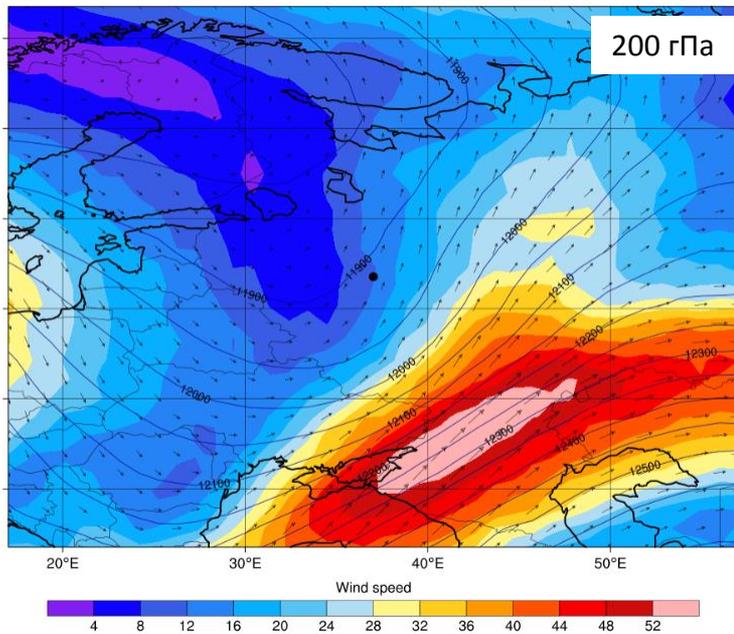
Ц – циклон

Л – ложбина

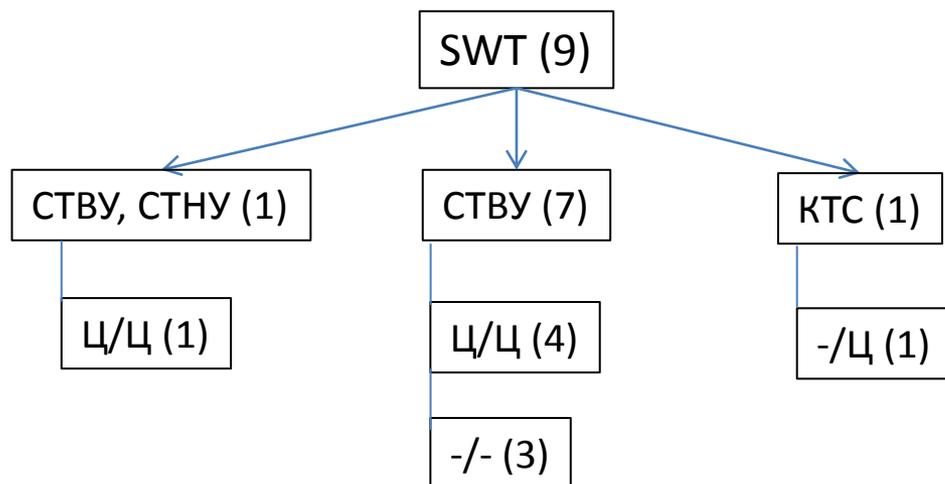
КТС – контрасты температуры и скорости ветра

А/В: А – циркуляция у поверхности земли, В – циркуляция на 850 гПа

Водяной смерч над Ивановским водохранилищем 18.07.2022 г. (LW/Седловина)



Подтипизация по шаблону атмосферной циркуляции на 200 гПа/850 гПа/SFC



СТВУ – струйное течение верхнего уровня

СТНУ – струйное течение нижнего уровня

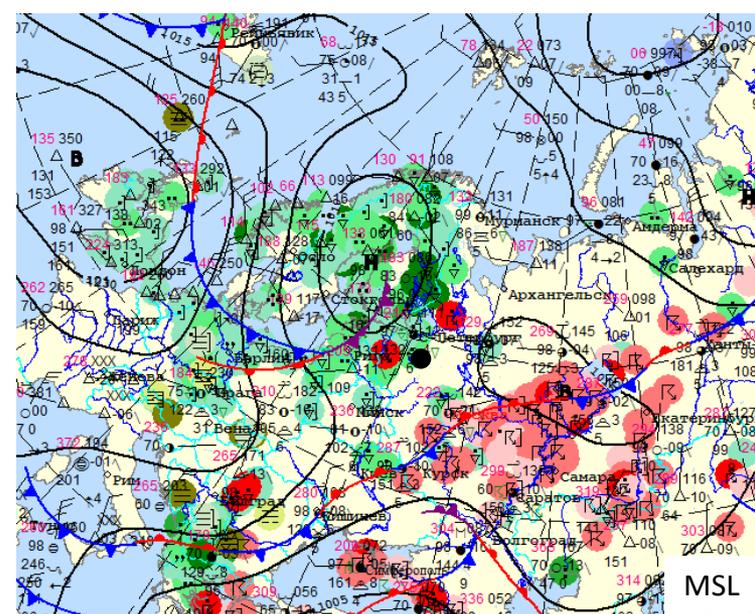
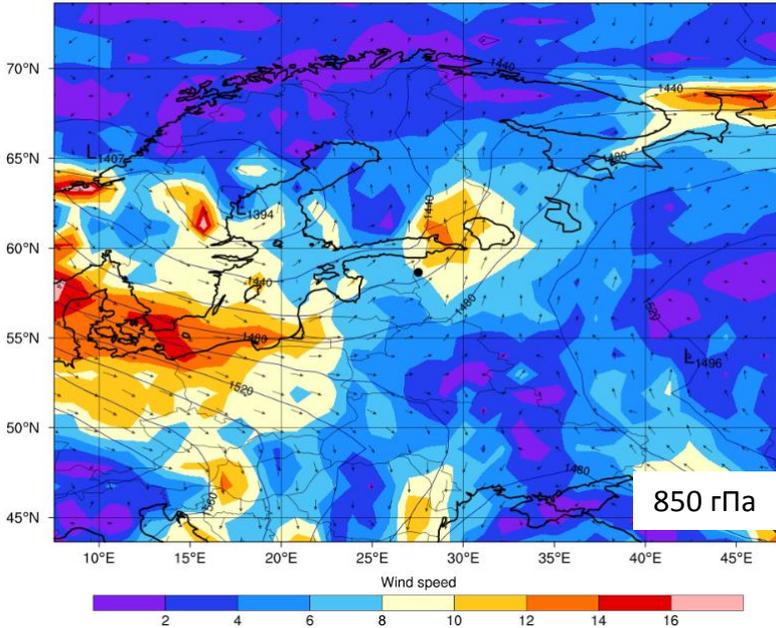
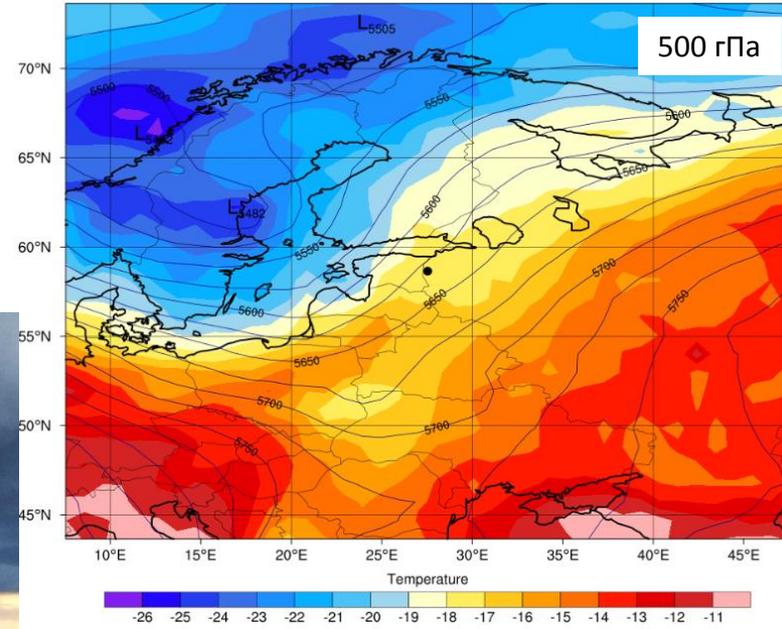
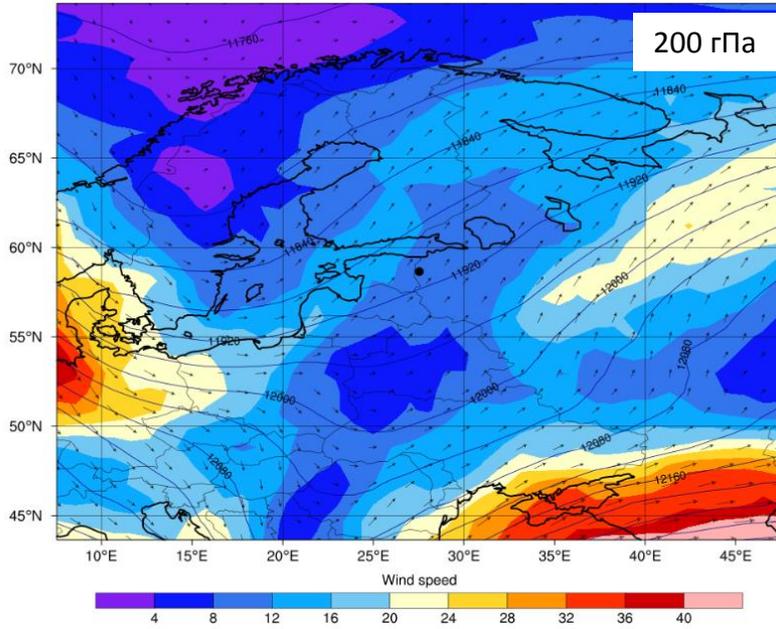
Ц – циклон

Л – ложбина

КТС – контрасты температуры и скорости ветра

А/В: А – циркуляция у поверхности земли, В – циркуляция на 850 гПа

Водяные смерчи над Чудским озером 09.07.2022 г. (SWT/Л850)

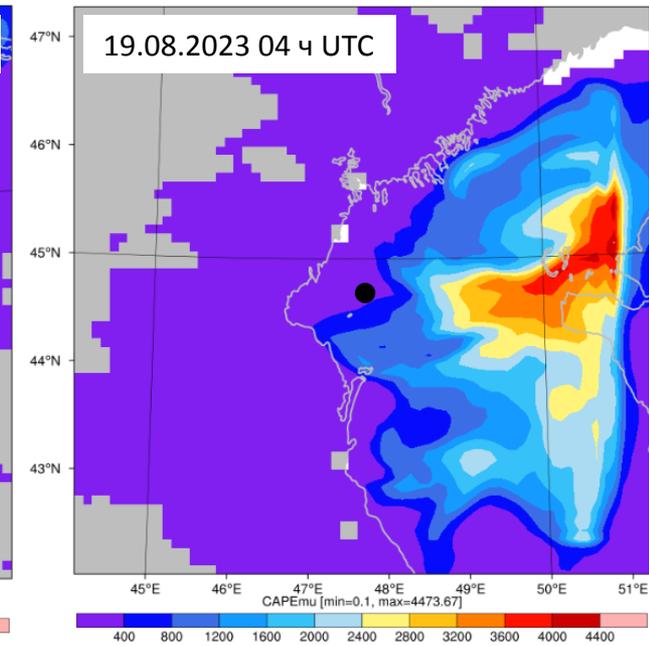
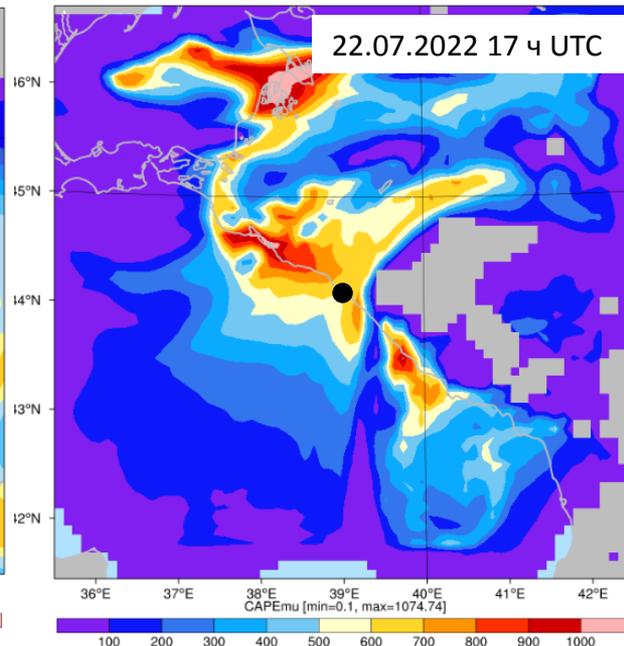
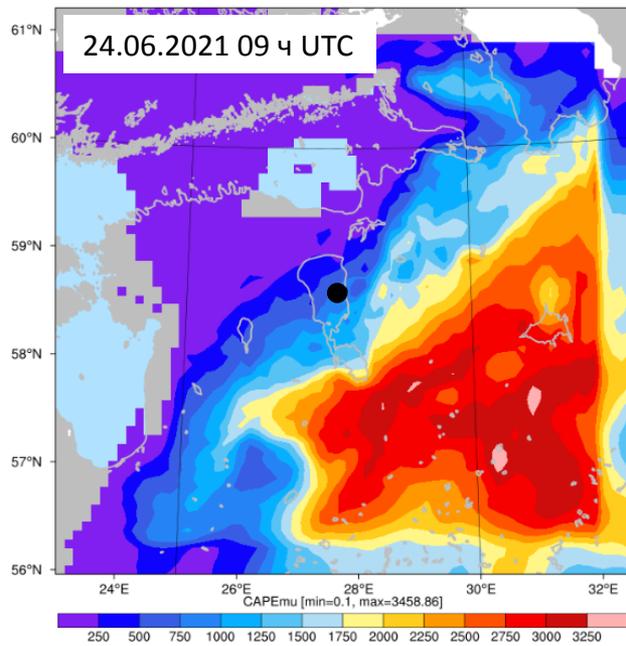


Оценки CAPE

Диапазон значений CAPE, Дж/кг	Число случаев
0 - 500	19
500 - 1000	7
1000 - 1500	11
1500 - 2000	6
2000 - 2500	3
2500 - 3000	0
> 3000	2

Максимальные значения CAPE в пределах интервала моделирования и расчетной области (600 км) достигались со сдвигом по времени в большинстве случаев до 6 ч от/до момента регистрации смерча.

Запасы конвективной доступной потенциальной энергии окружения, в котором формировалась основная масса проанализированных случаев, были невелики (до 1500 Дж/кг). Очевидно, что в объеме проанализированной выборки случаев смерчей определяющим фактором синоптического масштаба, обусловившим возможность смерчегенеза, могла послужить кинетическая энергия струйных течений (36 смерчей из 48 возникли при прохождении струйных течений верхнего и/или нижнего уровней).



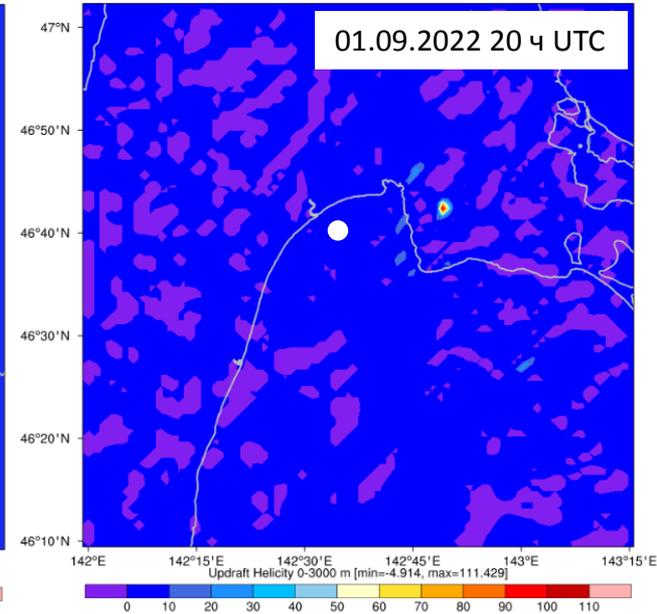
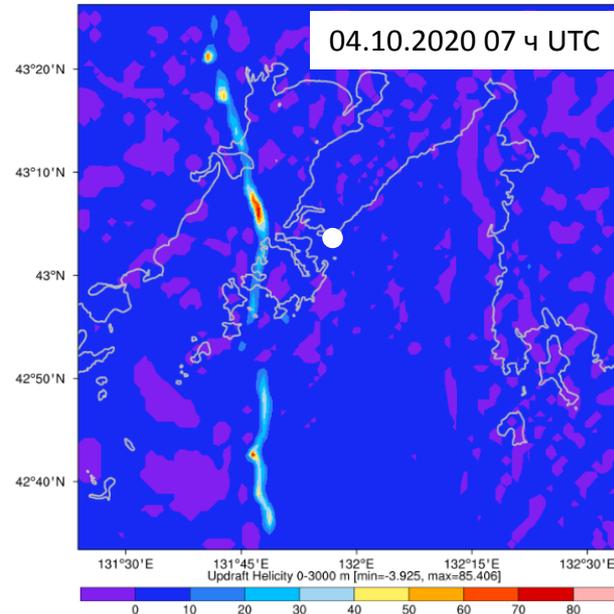
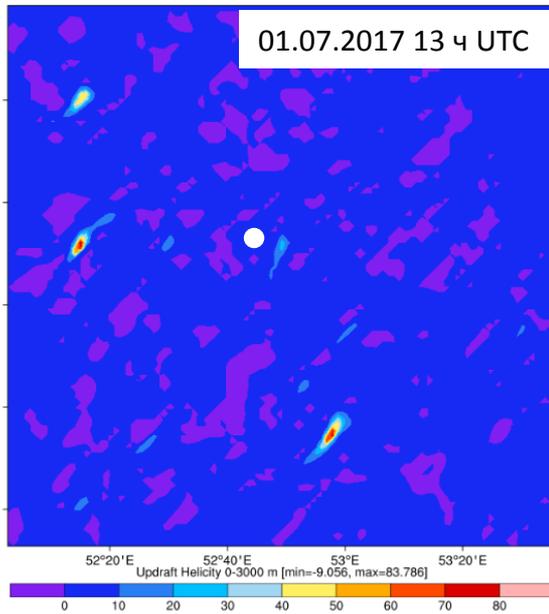
Оценки УН

Диапазон значений Updraft Helicity [0-3 км], м2/с2	Число случаев
0 - 10	11
10 - 20	16
20 - 30	8
30 - 40	7
40 - 50	1
> 50	5

Максимальные значения УН в пределах интервала моделирования и расчетной области (100 км) достигались со сдвигом по времени в большинстве случаев до 4 ч от/до момента регистрации смерча.

В большинстве случаев УН не превышала 30 м2/с2. Для 5 смерчей модель воспроизводила ячейки с достаточно большими значениями УН:

- 01.07.2017 смерч над рекой Кама (84 м2/с2)
- 23.09.2018 смерч вблизи Владивостока (82 м2/с2)
- 04.10.2020 смерч вблизи Владивостока (85 м2/с2)
- 22.07.2022 смерч вблизи с. Агой Туапсинского района (70 м2/с2)
- 02.09.2022 смерч у побережья Сахалина (111 м2/с2)



Водяные смерчи различных типов

26.06.2016 смерч над Волгой



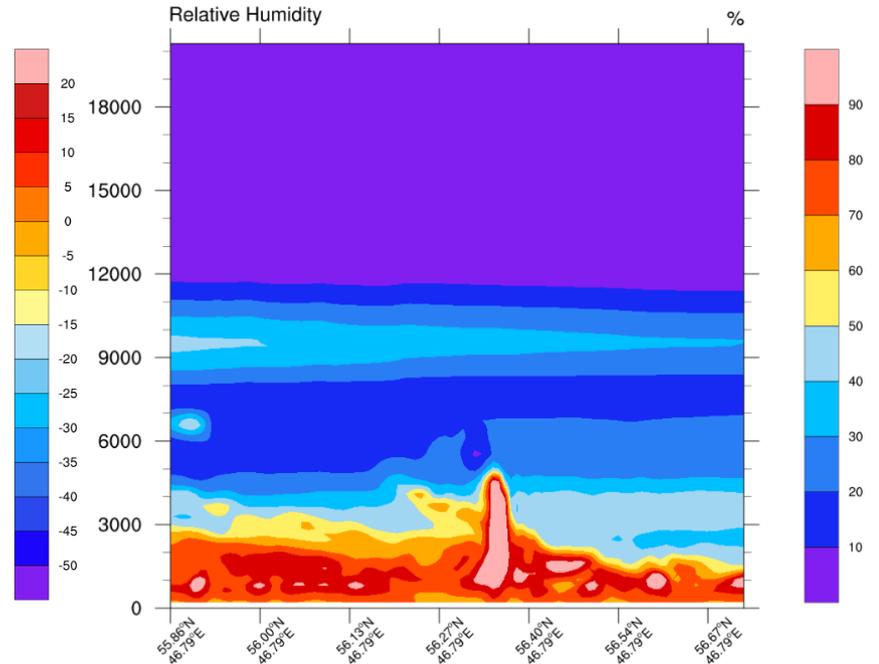
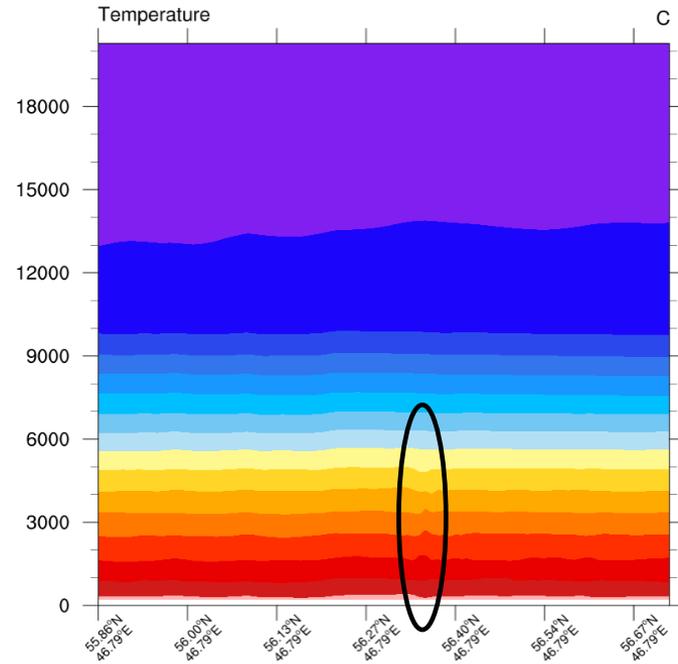
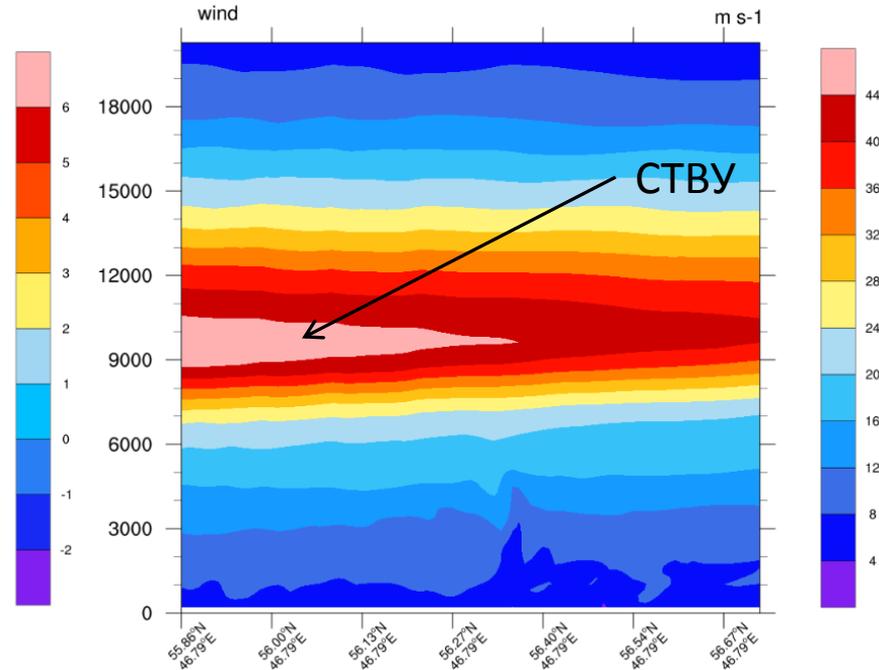
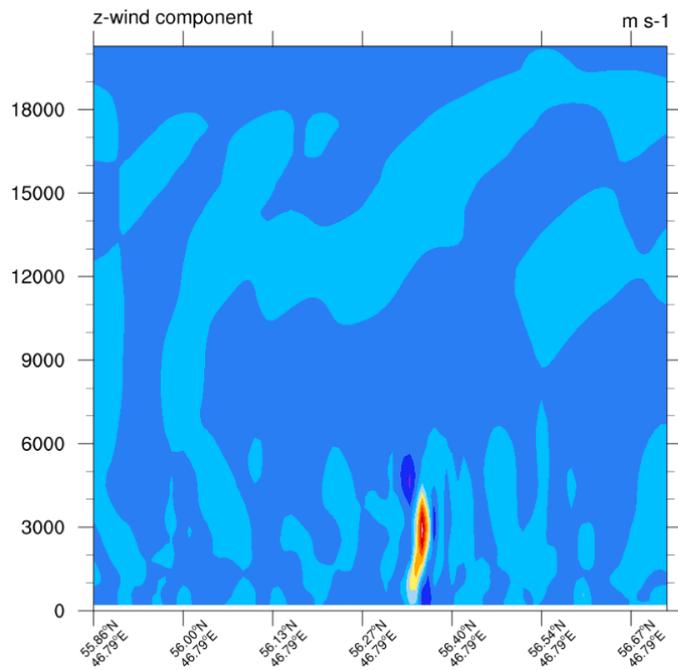
немезоциклонный тип

01.07.2017 смерч над Камой

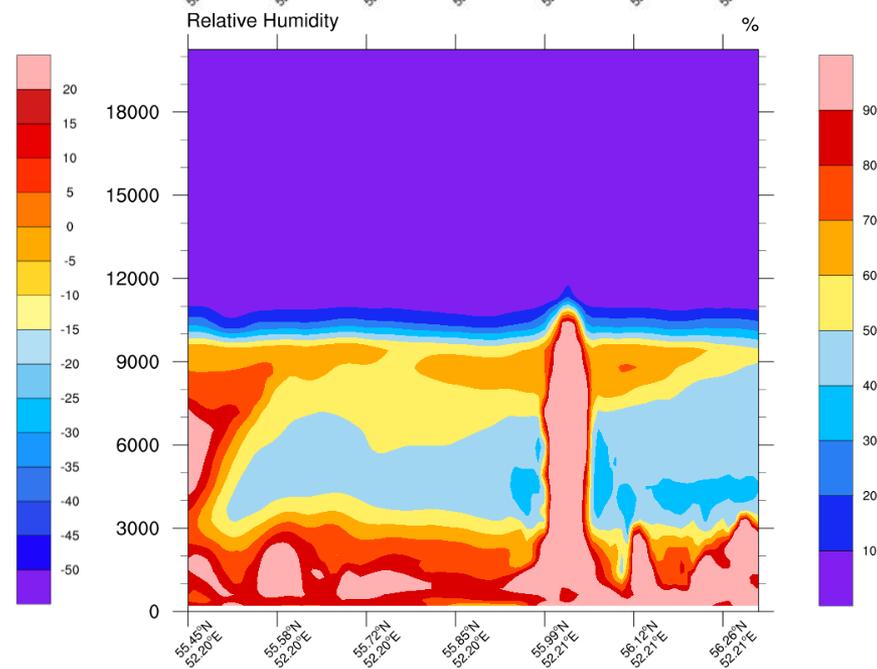
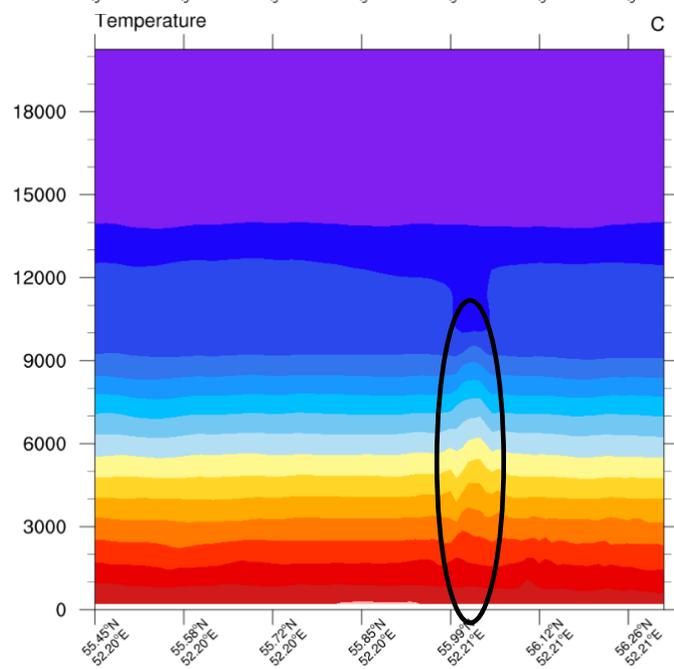
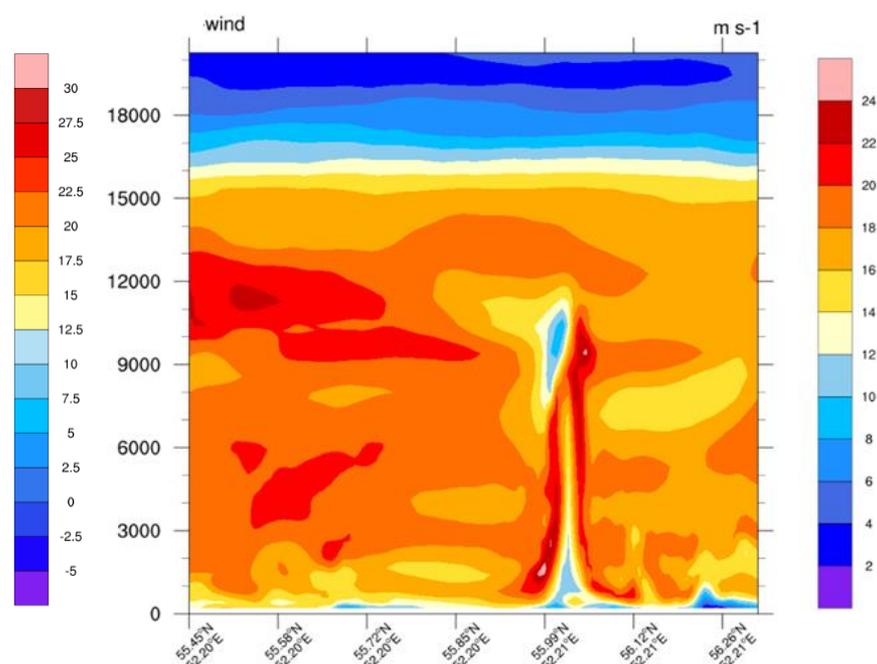
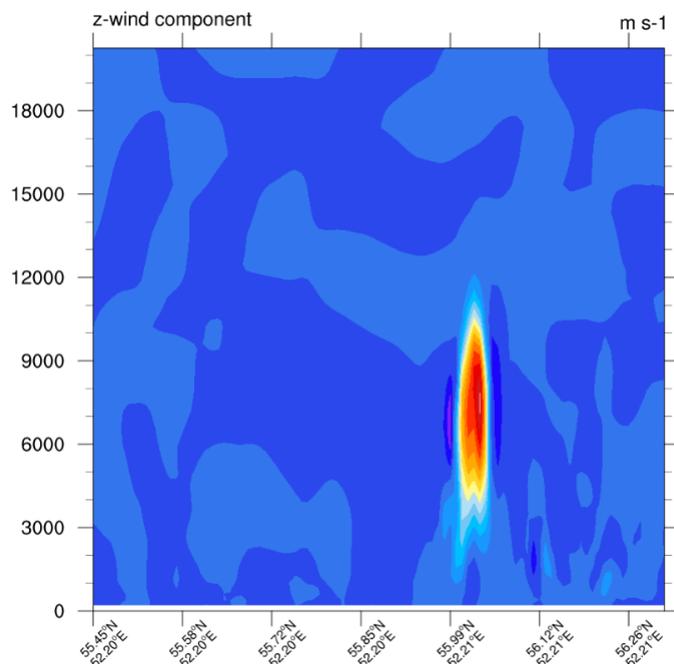


мезоциклонный тип

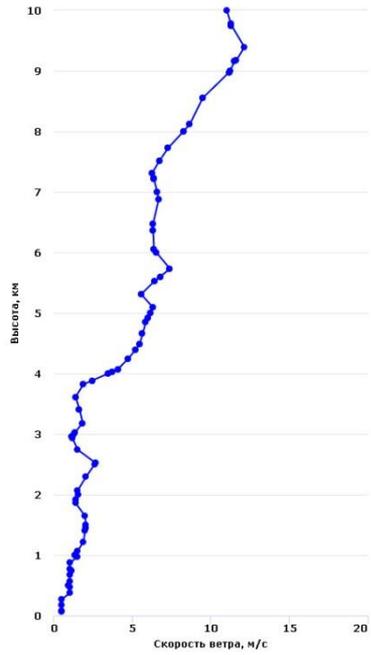
Вертикальные сечения (26.06.2016 смерч над Волгой)



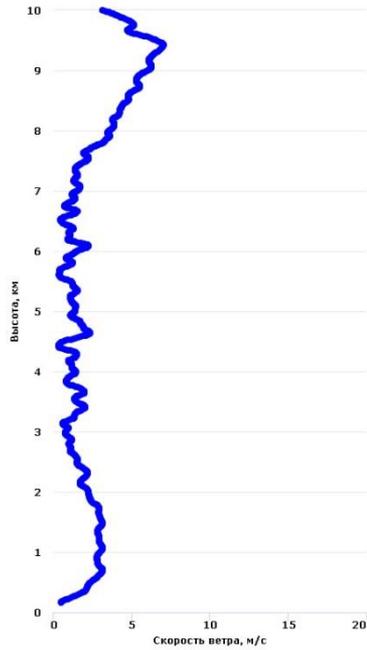
Вертикальные сечения (01.07.2017 смерч над Камой)



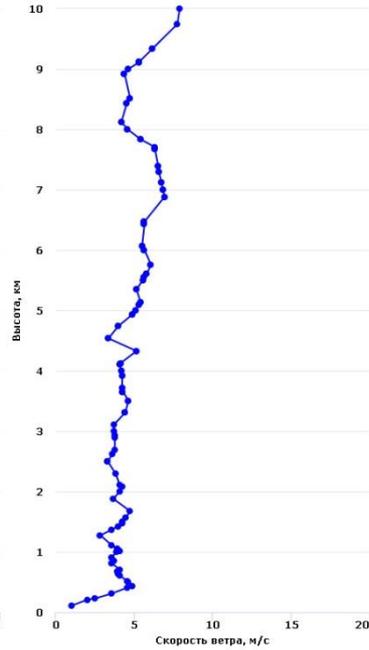
Анализ аэрологических данных



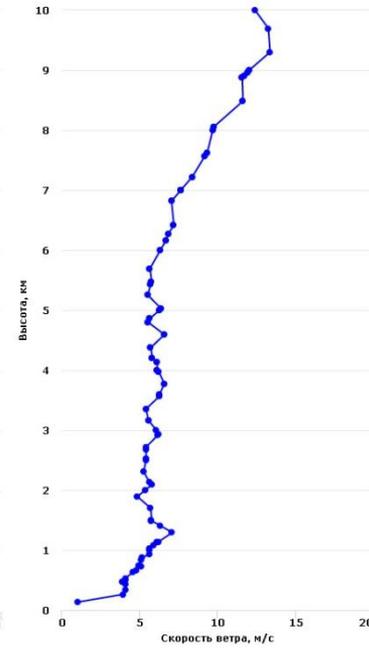
11.09.2021



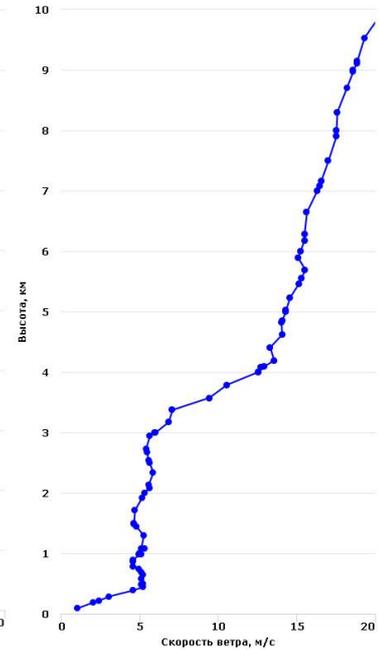
21.07.2020



23.07.2021



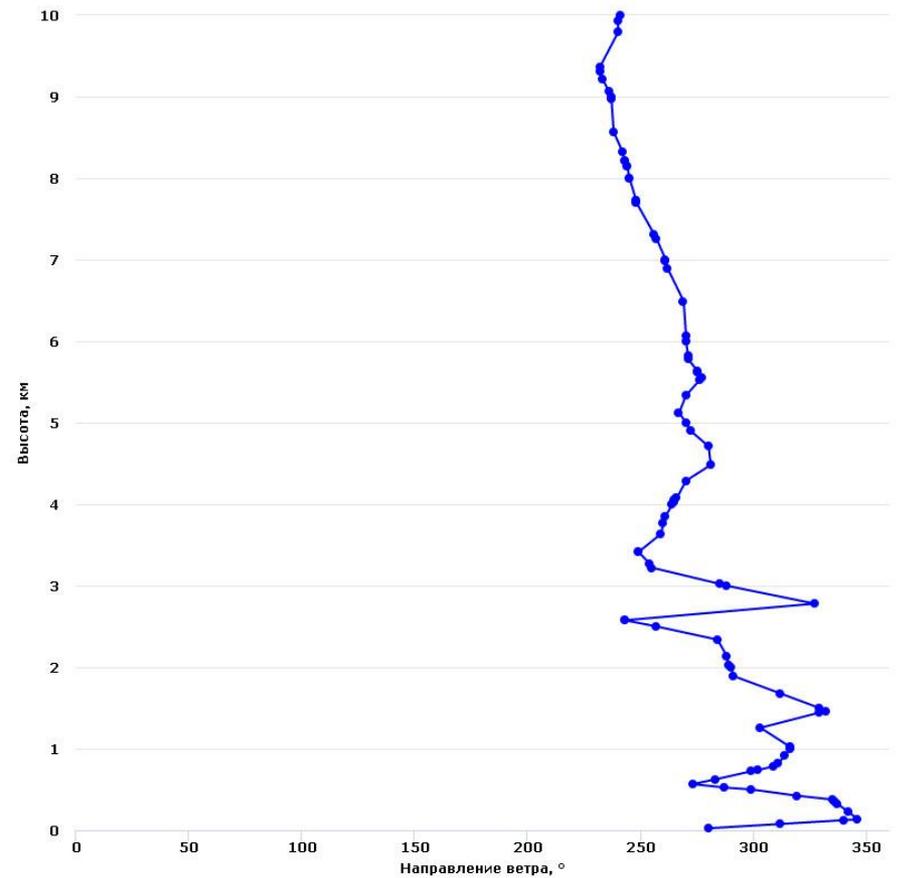
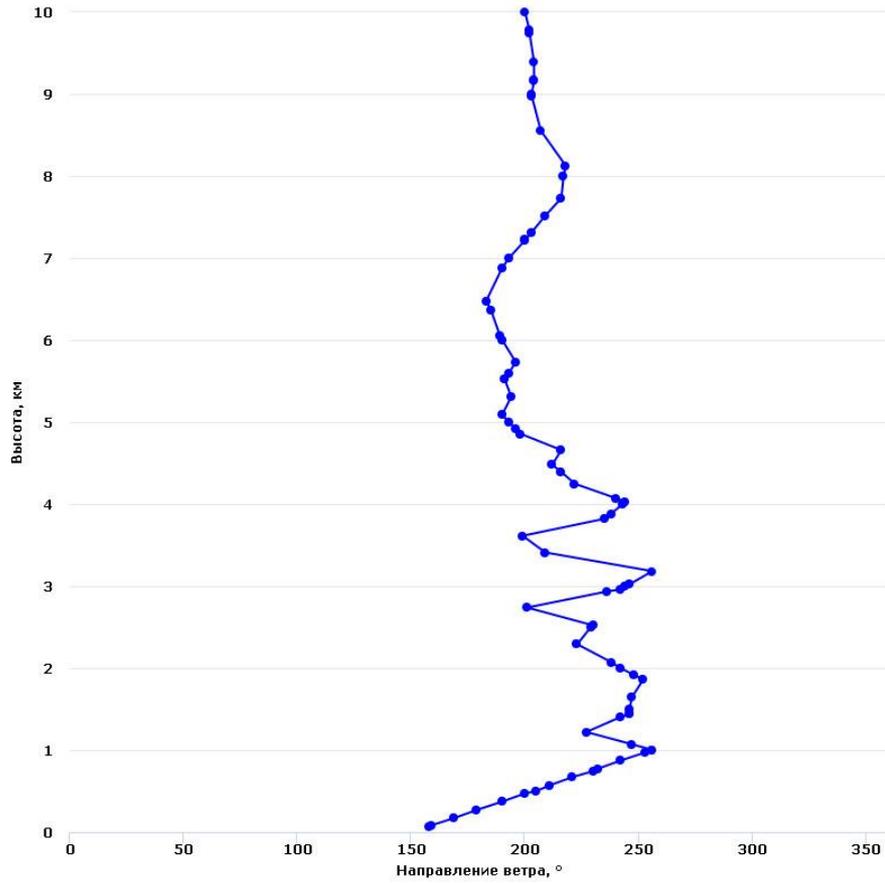
26.09.2019



04.10.2020

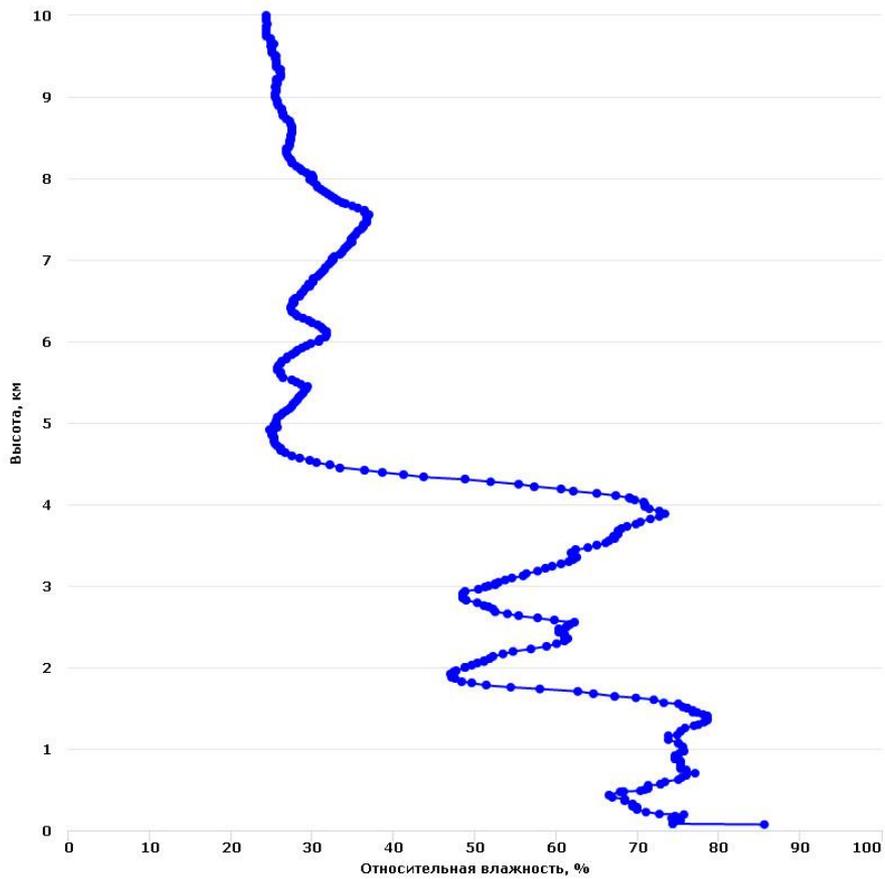
В нижнем слое преобладали слабые ветра, а скорости ветра в основном мало менялись с высотой.

Анализ аэрологических данных

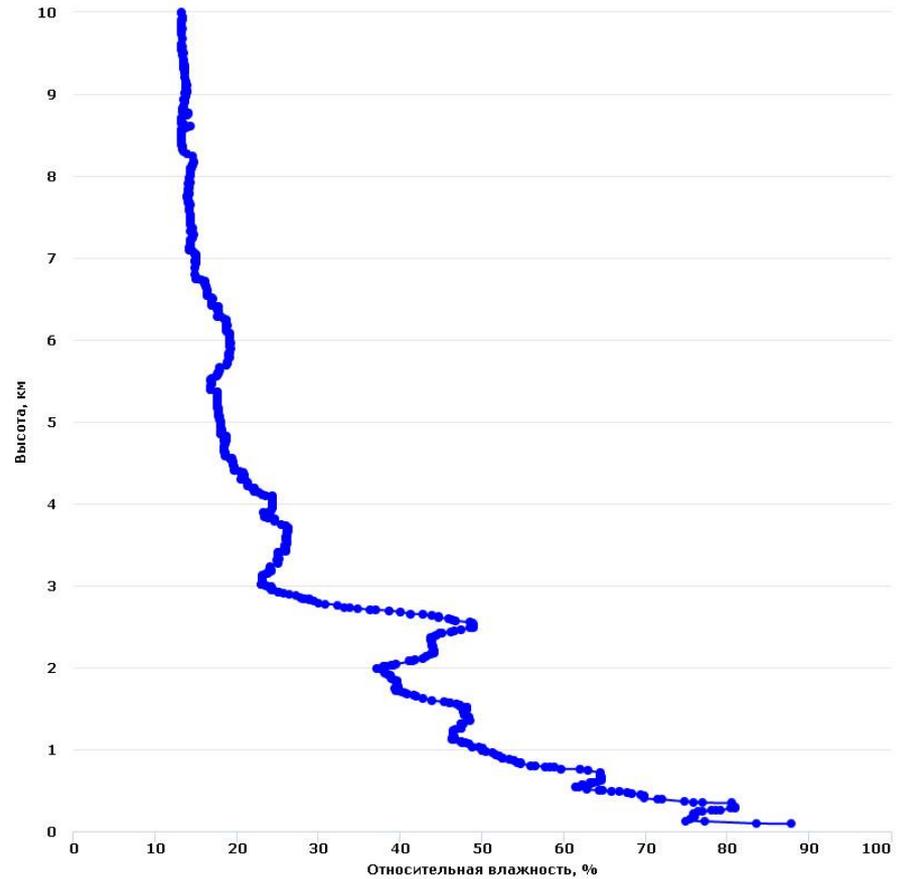


Резкие изменения направления ветра с высотой.

Анализ аэрологических данных



11.09.2021



04.10.2020

Чередование слоев различной влажности воздуха.

Заключение

- Проанализированы условия возникновения 48 водяных смерчей в различных частях России.
- На основании шаблонов циркуляции атмосферы у земли, на уровнях 850 гПа, 500 гПа и 200 гПа выполнена классификация рассматриваемых случаев с выделением трех типов циркуляции на 500 гПа с последующей более детальной подтипизацией.
- Установлено, что в объеме рассматриваемой выборки в большинстве случаев смерчи возникали в условиях высотных циклонов (тип CLOSED), при прохождении над местом регистрации смерча струйных течений верхнего и/или нижнего уровня, как правило с идентификацией циклона в нижнем слое. В меньшей степени смерчи формировались в условиях длинных (тип LW) и коротких (тип SWT) ложбин на 500 гПа, также при прохождении струйных течений и выявлении приземных циклонов.
- Анализ результатов моделирования по WRF-ARW v.4.5 показал, что смерчи в основном возникали в условиях слабой конвективной неустойчивости (при небольших значениями CAPE, до 1500 Дж/кг). Хорошо воспроизводимые моделью контрасты скорости ветра и температуры воздуха в слоях различной глубины, очевидно, были обусловлены передачей накопившейся энергии синоптического масштаба (в первую очередь кинетической энергии струйных течений) вниз по иерархии к меньшему масштабу. Получены оценки спиральности восходящего потока UH, рассчитанные на сетке с разрешением 1 км в нижнем 3 километровом слое атмосферы. Установлено, что для рассматриваемой выборки смерчей значения UH в основном не превышали 30 м²/с².
- Анализ аэрологических данных для неполной выборки рассматриваемых случаев (15 смерчей) подтвердил известные особенности, присущие окружению, в котором обычно возникают малоинтенсивные водяные смерчи: скорость ветра мало меняется с высотой, отмечается поворот ветра с высотой. Среди рассматриваемой подвыборки случаев преобладала структура, характеризующаяся чередованием слоев различной влажности.
- Работа выполнялась в рамках проекта Российского научного фонда (№ 22-27-00039).

Спасибо за внимание

