



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА**

(бакалаврская работа)

На тему: «Особенности циклогенеза в горных районах»

Исполнитель Щеглова Наталья Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доцент, кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)
Федосеева Наталья Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

- заведующий кафедрой

(подпись)

доцент, кандидат физико-математических наук
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

« 05 » июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ	4
1.1 Влияние орографии на атмосферные процессы	4
ГЛАВА 2. ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ, ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ	7
2.1 Образование орографических циклонов	7
2.2 Скагерракский циклон	13
2.3 Генуэзский циклон	16
2.4 Карпатский циклон	17
ГЛАВА 3. СПУТНИКОВЫЙ АНАЛИЗ СКАГЕРРАКСКИХ, ГЕНУЭЗСКИХ И КАРПАТСКИХ ЦИКЛОНОВ	17
3.1 Спутниковый анализ Скагерракского циклогенеза	18
3.2 Спутниковый анализ Карпатского циклогенеза	32
3.3 Спутниковый анализ Генуэзского циклогенеза	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	60
ПРИЛОЖЕНИЕ А	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	63

ВВЕДЕНИЕ

Орографический циклон, зарождаясь на подветренной стороне горной цепи, оказывает не только существенное влияние на климат региона, но и является причиной возникновения опасных погодных явлений.

Из-за орографических особенностей этого региона и близости моря горные циклоны имеют тенденцию резко ухудшать процесс циклогенеза. Эти наборы характеристик трудно предсказать из-за небольшого размера вихря и его быстрого развития в море.

Благодаря усовершенствованию дистанционных методов исследования, а также расширению глобальных и региональных архивов данных, появилась возможность достаточно точно определить эволюцию и траекторию перемещения циклонов.

Изучение формирования циклонов один из важнейших процессов определения погодных условий региона. Использование современных технических средств, таких как применение спутниковой информации и современных методов статистического анализа, является актуальной темой в области гидрометеорологических задач и важнейшей научно-практической работой.

“На основе данных ежедневной спутниковой съемки MODIS/Aqua, Terra, VIIRS/NPP Suomi, VIIRS/NOAA-20 был сформирован архив снимков орографических циклонов на территории Европы за период с 2019 по 2024 гг.”[1] Выполнен анализ синоптических условий циклогенеза. Построены траектории перемещения горных вихрей.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

1.1 Влияние орографии на атмосферные процессы

Горы оказывают значительное влияние на движение атмосферы. Даже низкие горные хребты могут менять скорость и направление ветра вызывая сильные ветры из-за препятствий для воздушных масс. Когда воздушная масса спускается с горы, на подветренном склоне возникает сильный ветер. Этот процесс приводит к увеличению количества осадков на склонах подветренных сторон, поскольку на них влияет разность давлений по обе стороны горного хребта.

Кроме того, в подветренной вертикальной зоне горного хребта чаще образуются ветровые циклы. При устойчивом расслоении атмосферы входящие воздушные потоки не могут проходить над горами, а начинают проходить через каньоны и долины и обтекать их. Если горные хребты не обеспечивают легкодоступных дорог, то воздух может попасть в зону ветра, и давление в этом районе может возрасти (например, в Скандинавии эта территория не покрыта ветром).

“Влияние орографии проявляется в целом ряде компонентов:

- задерживание фронтов;
- изменение скорости перемещения фронта;
- обострение фронтов;
- образование фронтальной волны на наветренной стороне и размывание фронта на подветренной;
- формирование орографической окклюзии, связанное с огибанием фронтом горного препятствия;
- обострении фронта у высоких берегов (т.н. береговой, или угловой эффект).”[2]

Как известно, все стремится к минимальному затрату энергии, поэтому, проще всего для воздушной массы обойти какое-либо препятствие по горизонтали.

Вертикальное переваливание встречается реже и имеет меньшую насыщенность, чем боковое переваливание. Пересечение хребта приводит к резкому увеличению турбулентности во фронтальной области, что связано с более сильным трением в горных районах.

Теплый фронт. Когда теплый фронт приближается к препятствию, холодный воздух попадает между фронтом и поверхностью горы (рис.1.1.1).

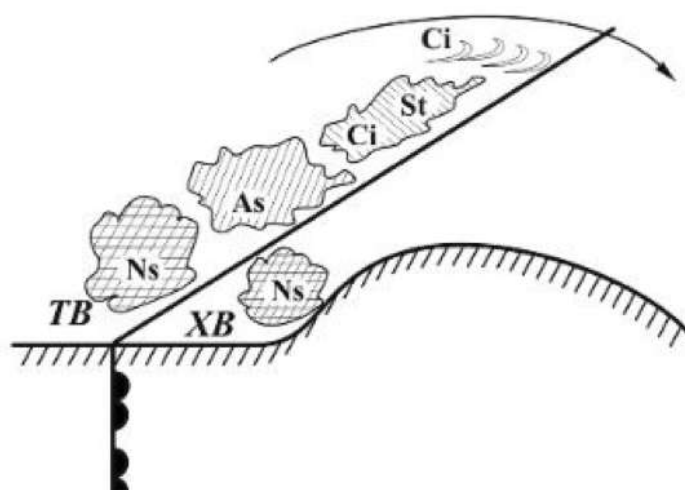


Рисунок 1.1.1 – Натекание фронта.

Холодный воздух, зажатый между фронтом и землей, начинает насильно подниматься вдоль хребта, на вершине горы образуются облачность, характерная для горной местности, и осадки, начинающие выпадать задолго до того, как фронт пройдет.

Когда фронтальная поверхность касается горного препятствия часть поверхности фронта, находящаяся за хребтом, начинает деформироваться в

соответствии с общим потоком. Формирующиеся нисходящие потоки воздуха приводят к фёновому эффекту и размыванию облачности (рис.1.1.2).

За хребтом происходит размывание фронта

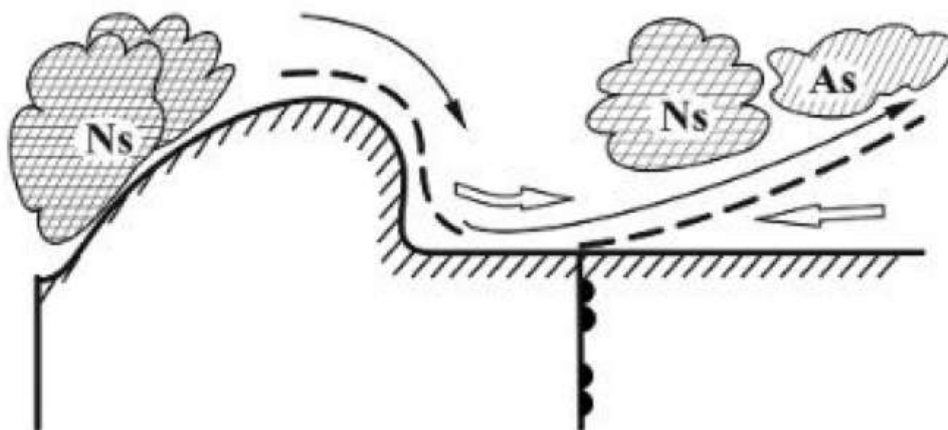


Рисунок 1.1.2 – Деформация фронта.

Когда фронт приближается к горному хребту под прямым или большим углом, та часть, которая ближе к хребту, задерживается, а остальная—огинает его, то есть образуется фронтальная волна.

Если воздушная масса стабильна, то, как правило, фронтальные волны стабильны или имеют уменьшение амплитуды. Если воздушная масса нестабильна, из такой фронтальной волны может образоваться циклон (относительно небольшой по размеру и интенсивности).

Примеры циклонов, возникающих в результате деформации фронта: циклон Скагеррак в Скандинавии, Мургабские циклоны в Средней Азии.

Холодный фронт. Если горы выше двух километров, то холодный фронт не может перейти его.

Переваливание может быть, если:

- невысокий хребет

- высокая скорость перемещения фронта (т. е. это холодный фронт второго рода) происходит накопление холодного воздуха перед хребтом (сохраняется постоянная адвекция, поступают все новые и новые порции воздуха, хребет их задерживает, и, даже если воздушная масса имела небольшую вертикальную мощность, она может перевалить через хребет за счет накопления).

Орографические облака будут формироваться более интенсивно, потому что перед фронтом находится тёплый воздух.

Когда фронт достигает горного хребта, орографические облака и осадки объединяются с фронтальными облаками. В результате возникает так называемая «затопленная конвекция»: кучевые облака проникают в систему слоистообразных облаков, которые образовались из-за особенностей рельефа.

Затем фронтальная поверхность начинает искривляться, происходит феновый эффект — нагрев воздуха, и фронтальные облака начинают размываться. Это похоже на то, что происходит при теплом фронте: холодный фронт исчезает на подветренной стороне, а затем восстанавливается на некотором расстоянии.

ГЛАВА 2. ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ, ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ВЛИЯНИЕ

2.1 Образование орографических циклонов

Рельеф оказывает специфическое, но сильное влияние на погодные условия, воздействуя на основные синоптические объекты, такие как атмосферные вихри.

Под влиянием рельефа траектории циклонов и антициклонов изменяются — они стремятся обойти высокие горы. Если это невозможно,

то перемещение атмосферных вихрей замедляется перед горными препятствиями, а небольшие вихри могут быть полностью остановлены горами.

Антициклоны имеющие малую вертикальную протяженность задерживаются горами. Они останавливают барическое образование, затем происходит накопление воздуха с низкой температурой.

Антициклоны обычно образуются со стороны, на которую дует ветер, там увеличивается атмосферное давление за счет накапливания. Циклоны же образуются с подветренной, характеризуемой падением давления. Однако существуют индивидуальные особенности, зависящие от:

- н.у циркуляции атмосферы;
- времени года;
- географическое положение хребта, его высота.

Существует несколько механизмов образования орфографических циклонов:

1. Частный вихрь. Когда холодный воздух встречается с теплым, происходит горизонтальная неустойчивость, которая вызывает резкое падение давления в центре циклона. Это приводит к вращающемуся движению воздушных масс, формируя циклонический вихрь. Сформировавшись, он начинает движение по периферии материнского циклона против часовой стрелки;
2. Сегментация циклона;
3. Деформация линий фронта.

Фронт атмосферы, являющийся зоной раздела между холодной воздушной массой и теплой, меняется, когда происходит столкновение или же сближение, с горными хребтами. Тогда начинает происходить процесс

деформации линий фронта, частично пытающихся обтечь преграду. В этом случае образуются циклонические вихри.

Иногда, если фронт не параллелен горному хребту, он может огибать препятствие с двух сторон. Это приводит к сильной деформации фронтальной поверхности и может вызвать образование нового циклона.

“Один из типичных районов, где это происходит — Скандинавия. Тёплый фронт приближается с юга к Скандинавским горам, при этом восточная ветвь фронта продолжает двигаться вдоль побережья Балтийского моря, а западная ветвь задерживается горами. В результате деформируется направление воздушных потоков и линия фронта, что приводит к образованию циклона с областью максимального падения давления в зоне проливов.”[3]

В циклоне воздух движется против часовой стрелки - если он задерживается горами, воздух накапливается в восточной части хребта, происходит повышение давления, а в западной части образуется отток воздуха, область перепада давления, в которую старается переместиться циклон.

Сегментация циклона. Орографические препятствия могут приводить к сегментации циклонов, то есть разделению одного циклона на две части.

Существует два сценария сегментации:

Если вихрь с циркуляцией против часовой стрелки движется под углом девяносто градусов низкому горному хребту, тогда на подветренной стороне гор будет формироваться новая циклоническая система, в то время как старый центр сохраняется на стороне, на которую дует ветер.

Когда циклон замедляется на наветренной части горного препятствия, давление начинает расти, и со временем циклон переходит в стадию заполнения. На подветренной стороне, напротив, давление падает,

образуется барическая ложбина, и в ней формируется новый циклон (рис. 2.1.1).

В дальнейшем новый циклон продолжает развиваться, а старый заполняется. Однако иногда оба центра сохраняются в течение длительного времени, особенно если горный хребет расположен в широтном направлении.

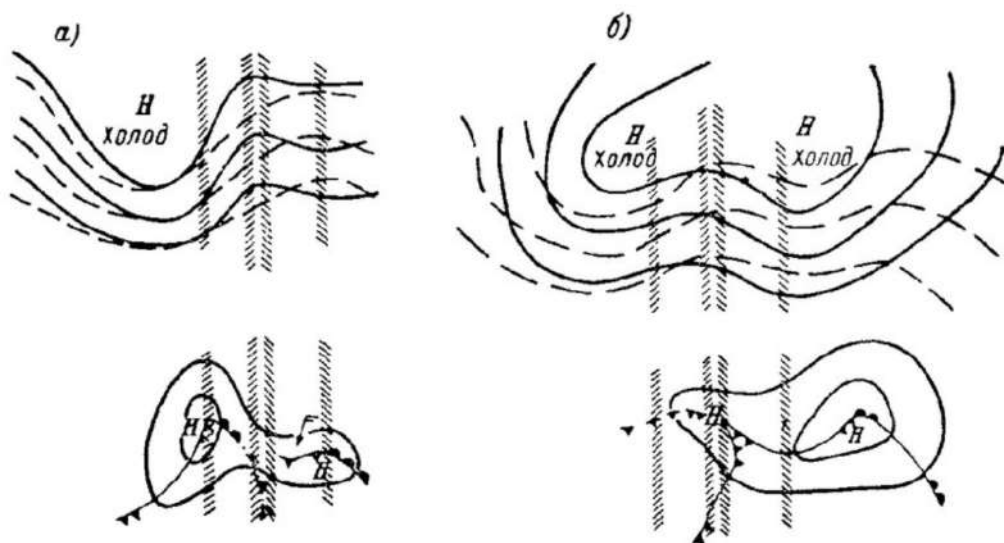


Рисунок 2.1.1 – Сегментация циклона при переваливания через горы.

а) начало переваливания; б) конец переваливания

Сегментирование циклона зависит от высоты горного хребта.

“Этот механизм переваливания циклонов характерен для:

- Карпат (примерно в 30 % случаев);
- горных хребтов Новой Земли;
- Апеннин (Италия);
- Буреинского хребта (Амурская область);
- хребта Сихотэ-Алинь;
- реже — для Уральских и Скандинавских гор.”[4]

Второй вариант сегментации циклонов происходит, когда циклон движется параллельно хребту, вытянутому в широтном направлении.

Приближаясь к такому хребту, циклон разделяется на 2 центра: первый расположен к северу от хребта, а второй - к югу. В будущем оба центра будут сохранены и будут двигаться с разной скоростью. Оба центра развиваются независимо друг от друга.

Если циклон сталкивается с несколькими хребтами сложной конфигурации в горной цепи, в результате мультисегментации может начать образовываться барическая депрессия с несколькими центрами.

Такой процесс можно наблюдать, например, когда средиземноморский циклон переваливает через хребты Эльбрус, Чиндукуш и др. Также это может происходить при переваливании циклона, образовавшегося в генуэзском проливе, через Альпы в сторону Карпат.

Помимо влияния гор, образование циклонов требует наличия благоприятной области по давлению и температуре, которое способствует образованию циркуляции.

Не только горы оказывают существенное влияние на циклогенез, но и наличие термобарического поля, которое благоприятствует образованию циклонов, является необходимым фактором.



Рисунок 2.1.2 – Физико-географическое положение орографических циклонов.

“К орографическим циклонам относятся (рис. 2.1.2):

- Скагерракские — у южной оконечности Скандинавских гор в районе пролива Скагеррак;
- Генуэзские — у южной оконечности Альп в районе Генуэзского залива;
- Карпатские — в Восточном Прикарпатье, над холодными фронтами при широтно ориентированных горных системах;
- Черноморские — над Чёрным морем.”[5]

2.2 Скагерракский циклон

Скагерракский циклон – это уникальное явление, которое происходит в Скагерраке (рис.2.2.1), узком проливе между Южной Норвегией и Швецией. Образование данного циклона обычно происходит в результате взаимодействия холодного воздуха из Скандинавии и теплого воздуха из Атлантического океана.



Рисунок 2.2.1 – Схематическое расположение Скандинавских гор.

Когда холодный воздух встречается с теплым, происходит горизонтальная неустойчивость, которая вызывает резкое падение давления в центре циклона. Это приводит к вращающемуся движению воздушных масс, формируя циклонический вихрь.

Скагерракский циклон может привести к сильным ветрам, дождям и грозам в близлежащих районах, что делает его опасным для мореплавания и жителей побережья. Однако циклон также играет важную роль в климатической системе региона, влияя на температуру воды и воздуха.

Облачность. Замечено, что на снимках облачности над южной низменной частью Скандинавского полуострова и проливами иногда

появляются

характерные

облачные

вихри.

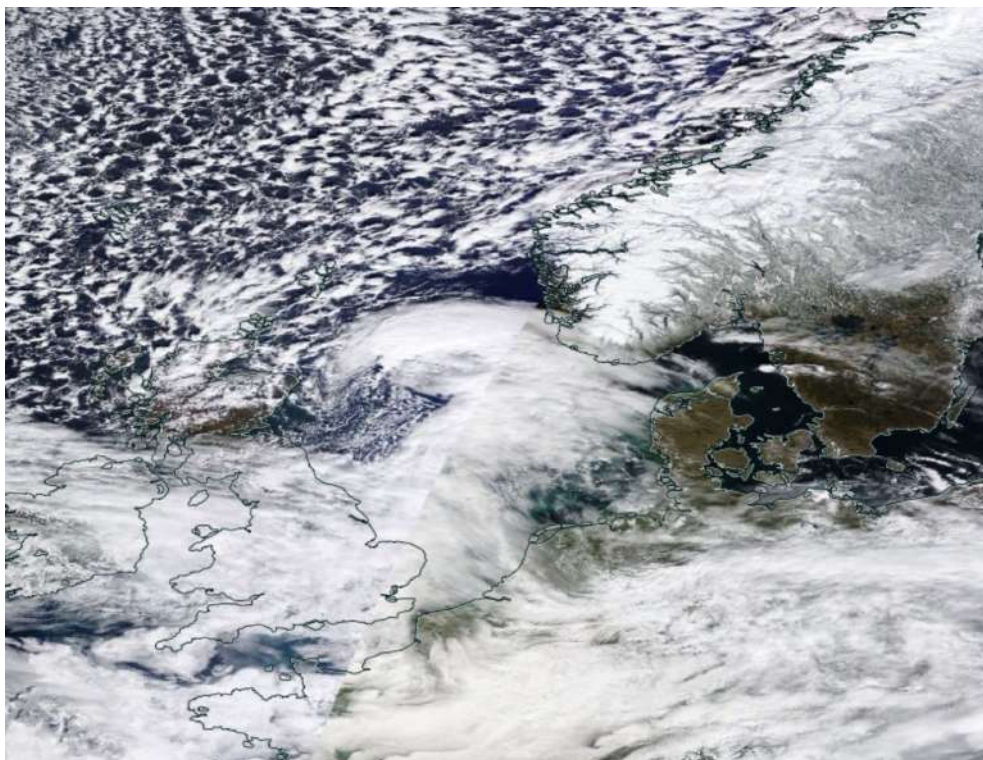


Рисунок 2.2.2 – Спутниковый снимок Скагерраковского циклона.

Анализ нескольких серий последовательных снимков с изображением таких вихрей позволил выявить следующее:

- в первые дни размер вихря не превышает 600 км;
- на спутниковых снимках в виде запятой;
- чаще всего представлены с вкраплениями кучевой облачности в слоистую.

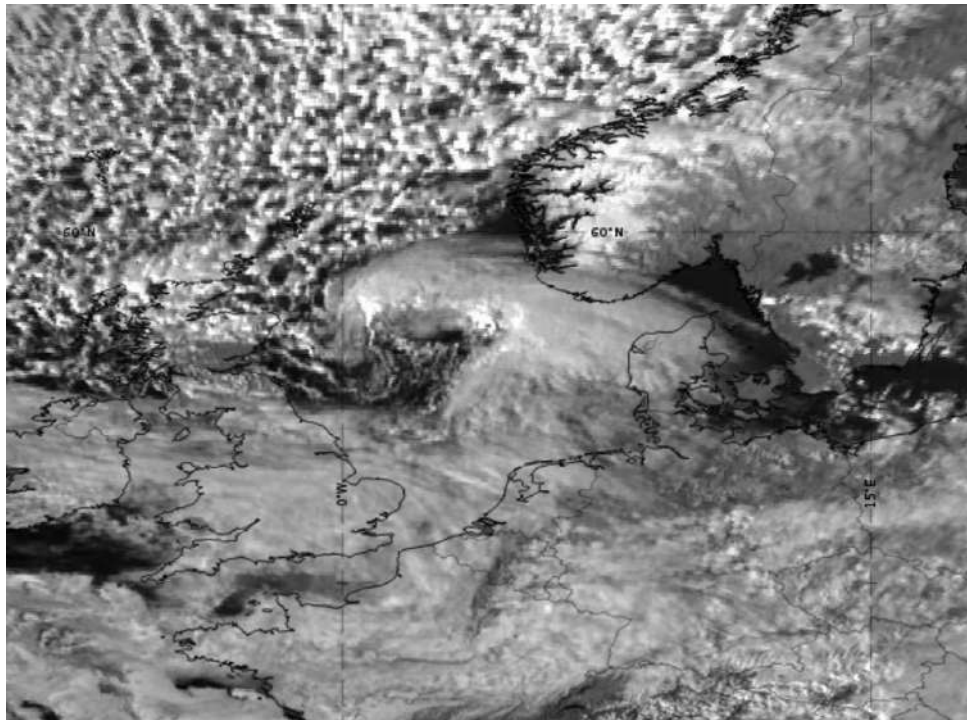


Рисунок 2.2.3 – Спутниковый снимок Скагеррацкого циклона в видимом диапазоне.

В деформированном воздушном потоке, который огибает возвышенную юго-западную часть Скандинавского полуострова, образуется облачный вихрь. Одновременно с этим в данном районе формируется локальный циклон.

Часто формирование такого локального циклона происходит при высоком давлении или даже при общем росте давления у земной поверхности. Поэтому появление облачного вихря может служить индикатором циклогенеза.

Если облачный вихрь начинает сливаться с фронтальной облачной полосой, которая обычно находится к востоку от него (как бы «втягивая» её в себя), то это указывает на развитие активного фронтального циклона.

В случае если облачный вихрь остается изолированным от фронтальной облачной полосы, то циклогенез локализуется и циклон затухает.

2.3 Генуэзский циклон

К северу от Генуэзского залива расположены Альпы с высотами до 5000 метров. Если над Альпами устанавливается высотный поток воздуха с севера на юг, то со стороны южного склона Альп, обращенного к заливу, создаются условия для зарождения циклона.

“Этот процесс может происходить весь год, хотя зимой циклоны зарождаются немного южнее — он связан с:

- Температурным контрастом между горами и теплым морем;
- Взаимодействием между струйным течением полярного фронта и субтропическим струйным течением;
- Встречей потока воздуха с севера над Альпами с теплым воздухом над Средиземным морем.”[7]

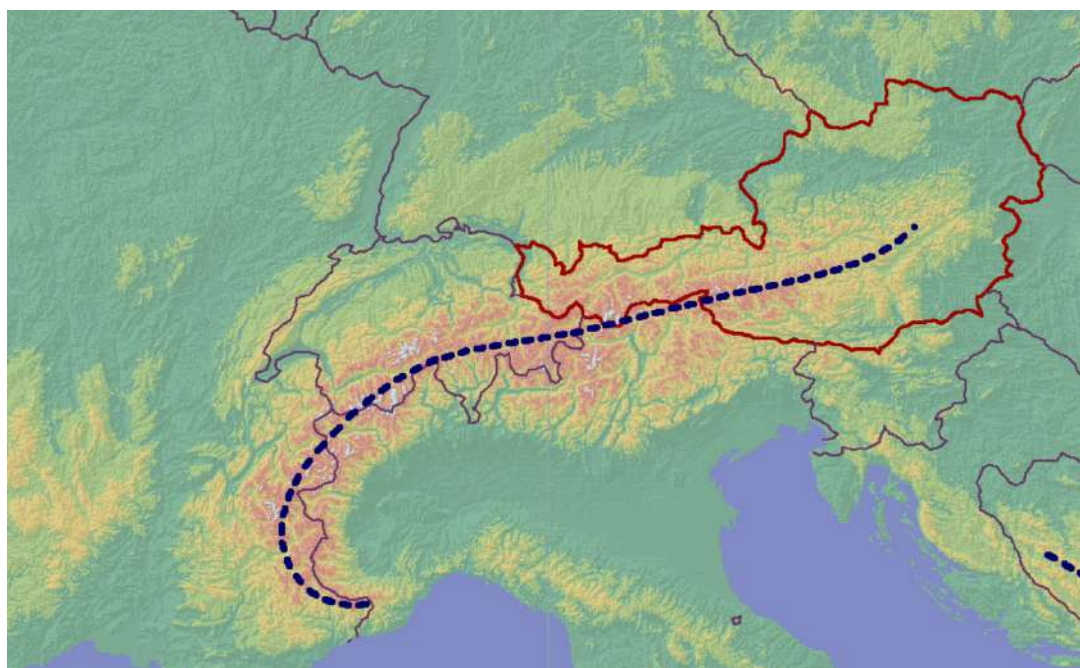


Рисунок 2.3.1 Схема распределения Альп и главного альпийского хребта.

2.4 Карпатский циклон

Карпатский циклон – это атмосферное явление, которое характеризуется формированием циклонической циркуляции в атмосфере над Карпатами.



Рисунок 2.4.1– Физическая карта с горами Карпаты.

Этот циклон обычно возникает в результате воздействия холодного воздушного массы на теплый воздух и приводит к образованию обширной области низкого давления, которая приводит к обильным осадкам и сильным ветрам.

ГЛАВА 3. СПУТНИКОВЫЙ АНАЛИЗ СКАГЕРРАКСКИХ, ГЕНУЭЗСКИХ И КАРПАТСКИХ ЦИКЛОНОВ

В работе рассмотрены три вида горных циклонов. Был сформирован архив спутниковых снимков, состоящий из 293 случаев орографического циклогенеза, где 84 случая приходится на Скагерракские циклоны, 120 – Генуэзские и 89 – Карпатские (рис. 3.1.1).

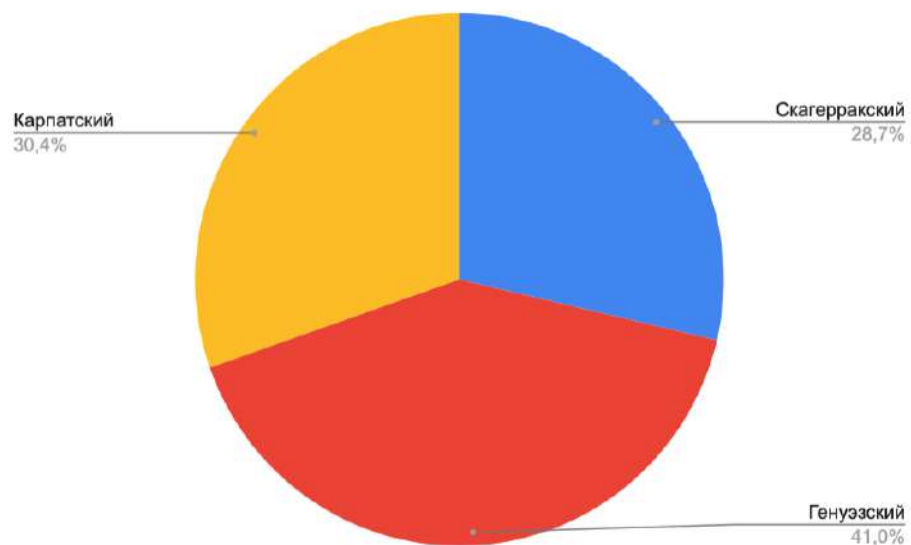


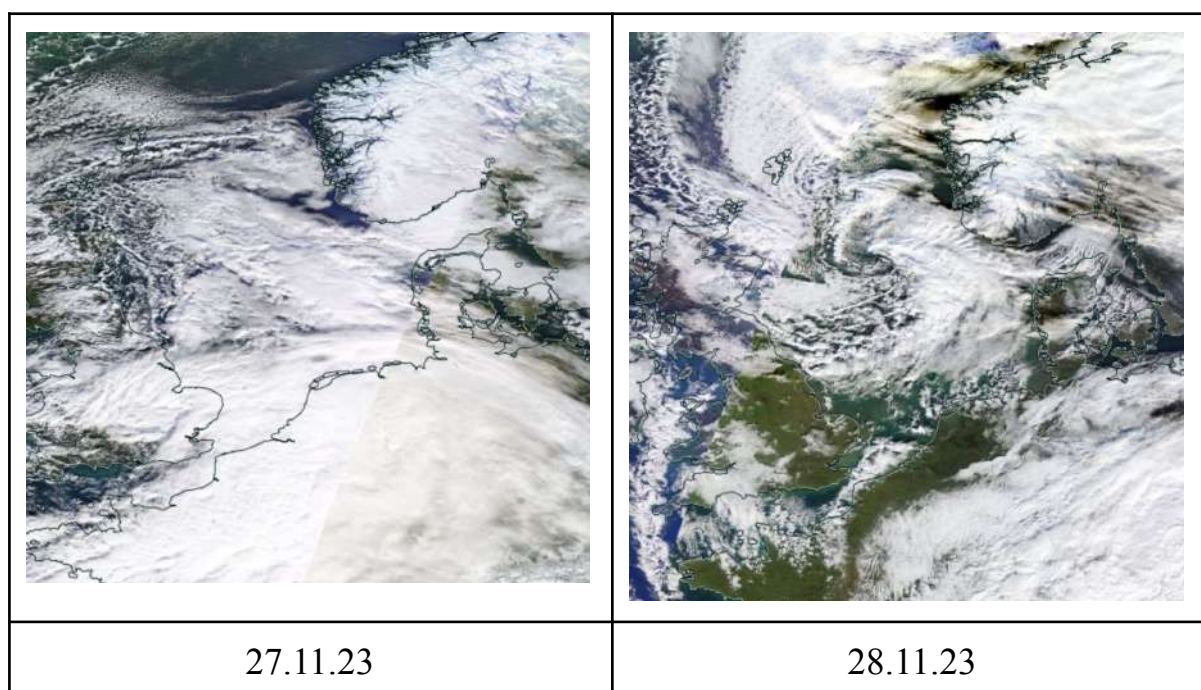
Рисунок 3.1 – Число случаев орографического циклогенеза.

Преобладание случаев циклогенеза в генуэзском заливе связано с влиянием циклонов, постоянно приходящих из Атлантического океана.

3.1 Спутниковый анализ Скагерракского циклогенеза

Рассмотрим формирование циклона по сезонам.

Осенний период



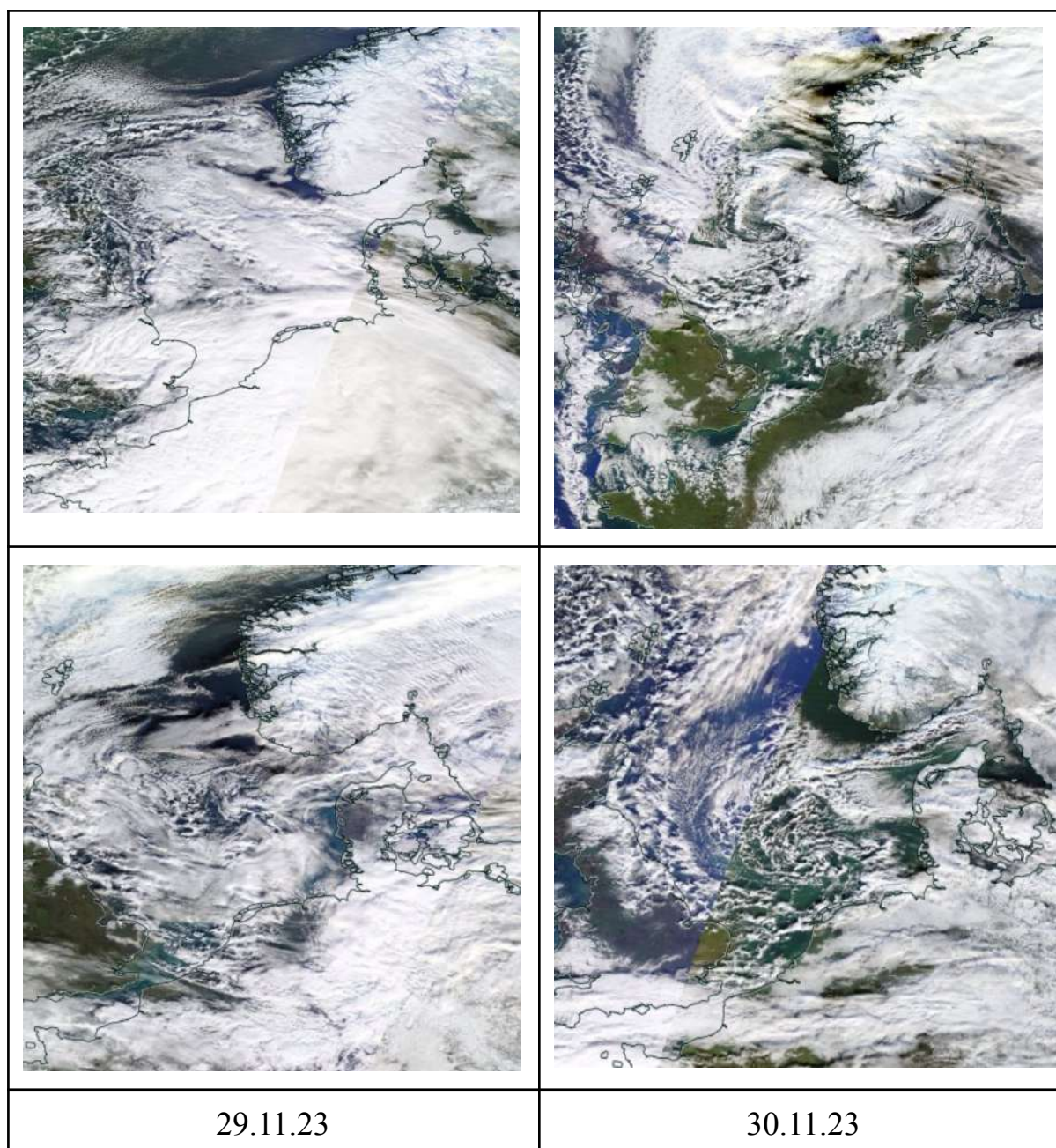
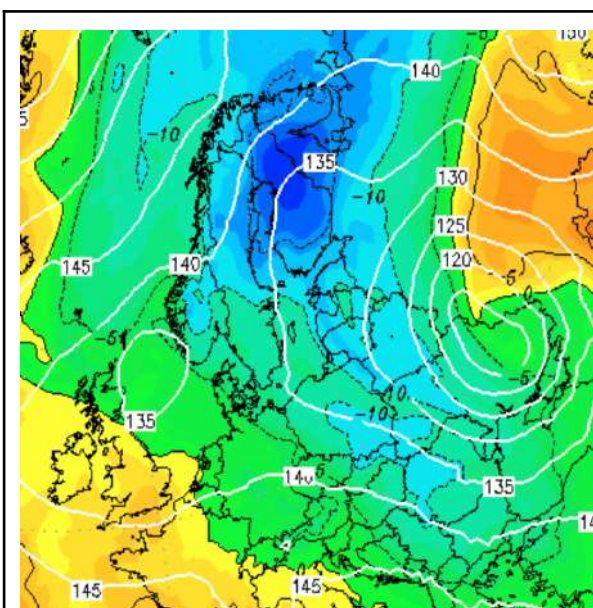


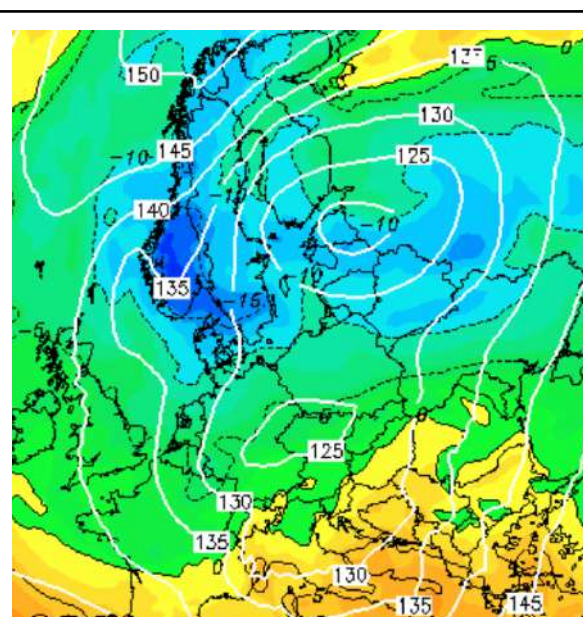
Рисунок 3.1.1 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в осенний период образования Скагерраского циклона.

На снимках изображено образование циклона в проливе Скагеррак.

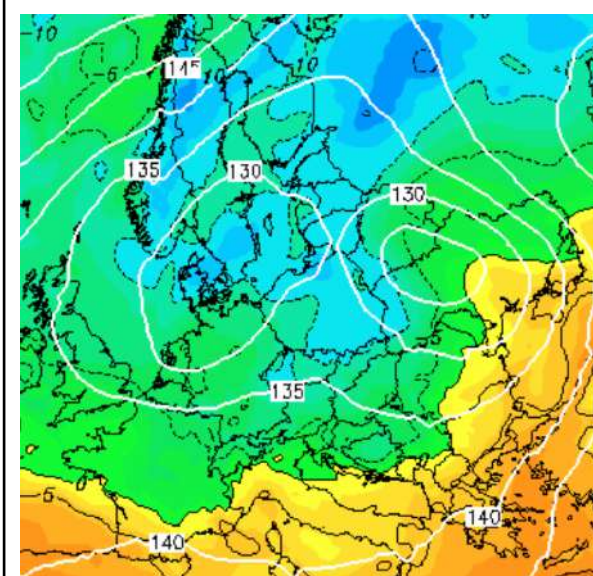
Позади данного циклона наблюдаются закрытые ячейки и ансамбли кучевой облачности, что указывает не только на повышение неустойчивости атмосферы, но и также на другие факторы, вызывающие усиление восходящих потоков.



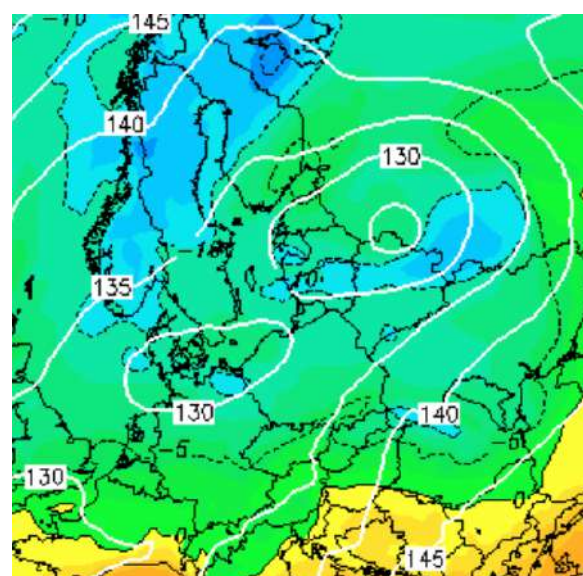
27.11.23 00 UTC



28.11.23 06 UTC



29.11.23 06 UTC



30.11.23 06 UTC

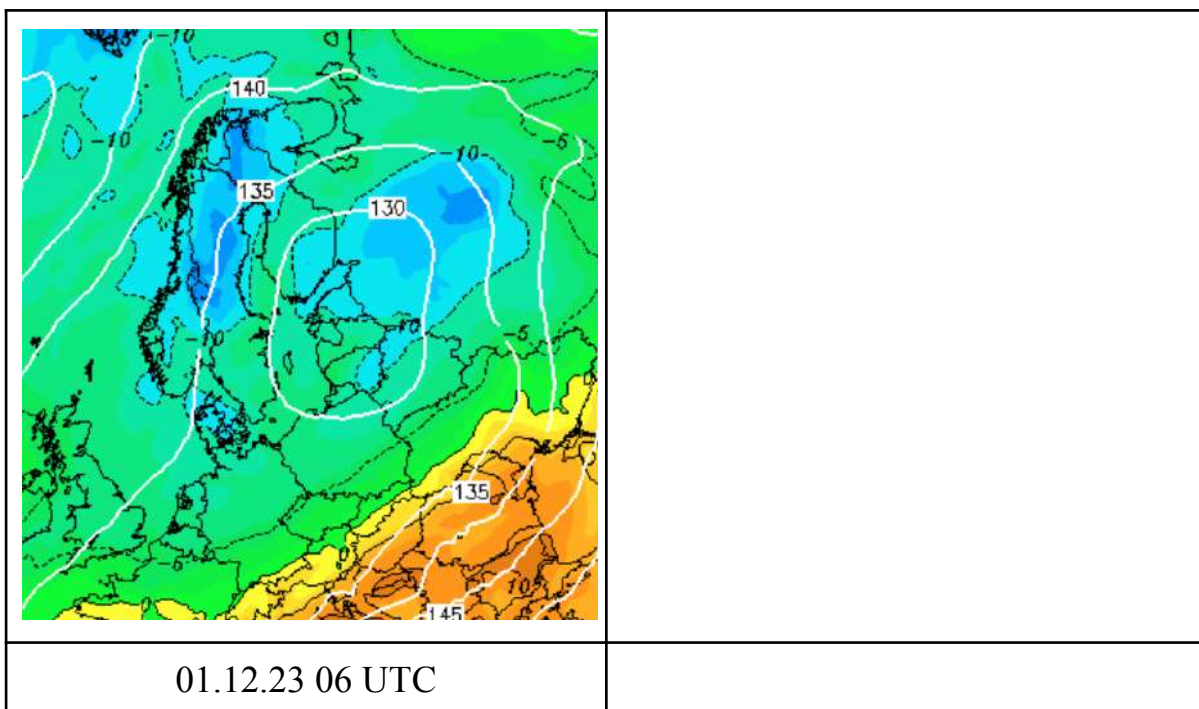


Рисунок 3.1.2 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за осенний период образования Скагерраского циклона.

Для отслеживания образования циклогенеза в горных районах, я использую карты барической топографии с сайта Wetterzentrale.

На картах, из рис. 3.1.2 виден момент возникновения Скагерракского циклона 27 ноября, происходящий за счет того, что холодный воздух встречается с теплым, происходит горизонтальная неустойчивость, которая вызывает резкое падение давления в центре циклона. Это приводит к вращающемуся движению воздушных масс, формируя циклонический вихрь.

Сформировавшись, он начинает движение по периферии материнского циклона против часовой стрелки.

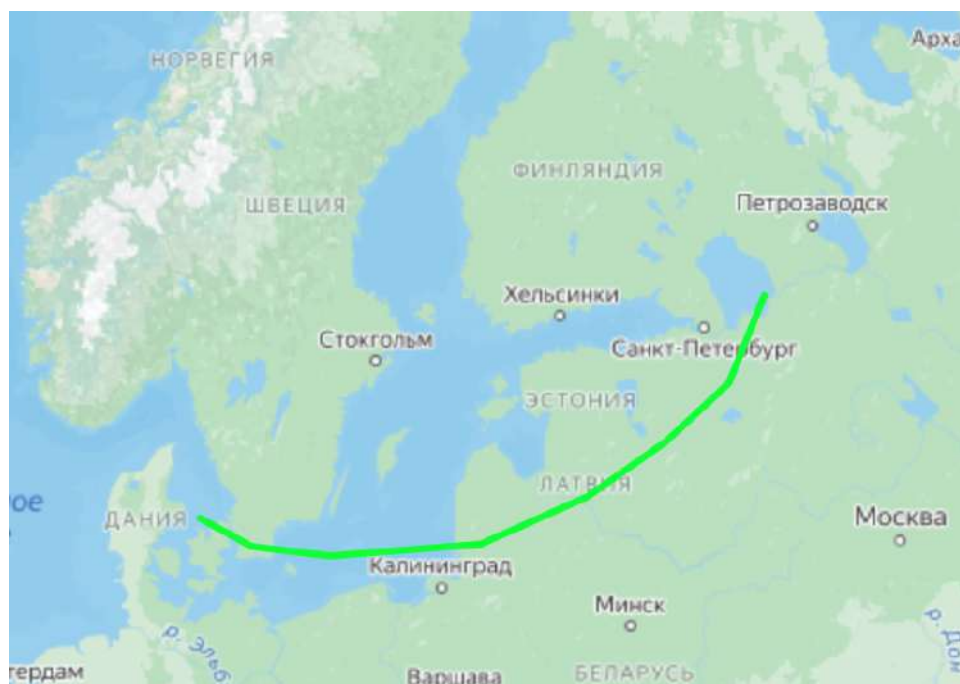
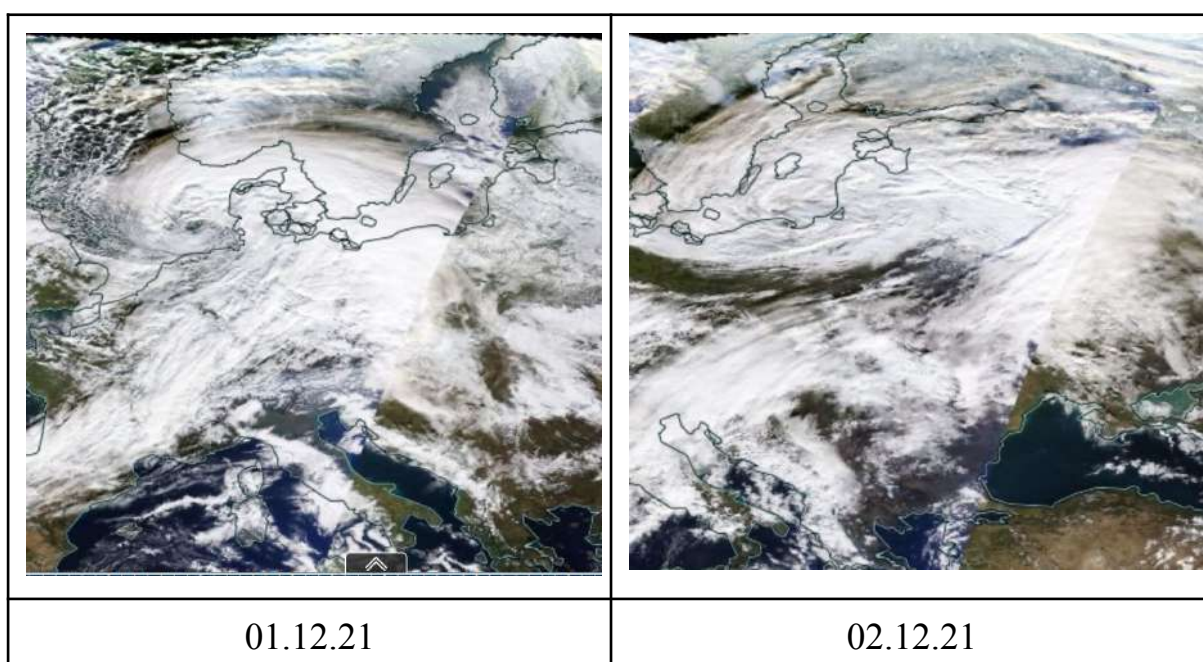


Рисунок 3.1.3 – Типичная траектория перемещения Скагерраковского циклона осенью.

Скагерракские циклоны в осенний период перемещаются над поверхностью Балтийского моря в восточном/северо-восточном направлении через территорию Латвии к Санкт-Петербургу.

Зимний период



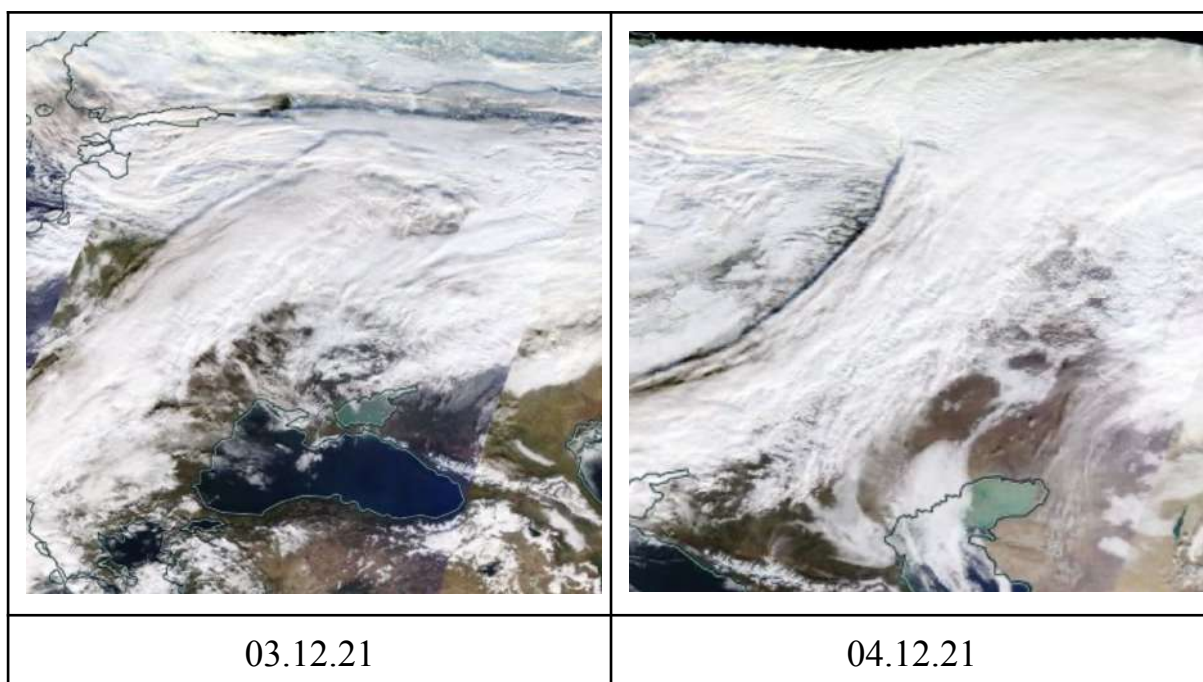


Рисунок 3.1.4 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в зимний период образования Скагерраского циклона.

На снимках изображено образование циклона в проливе Скагеррак в зимний период.

Изображения, представленные на серии спутниковых снимков (рис.3.1.4) , отображает ярко выраженную облачность в виде запятой. Такие мощные облачные массивы характерны для зимнего периода, за счет деформации линий холодного фронта.

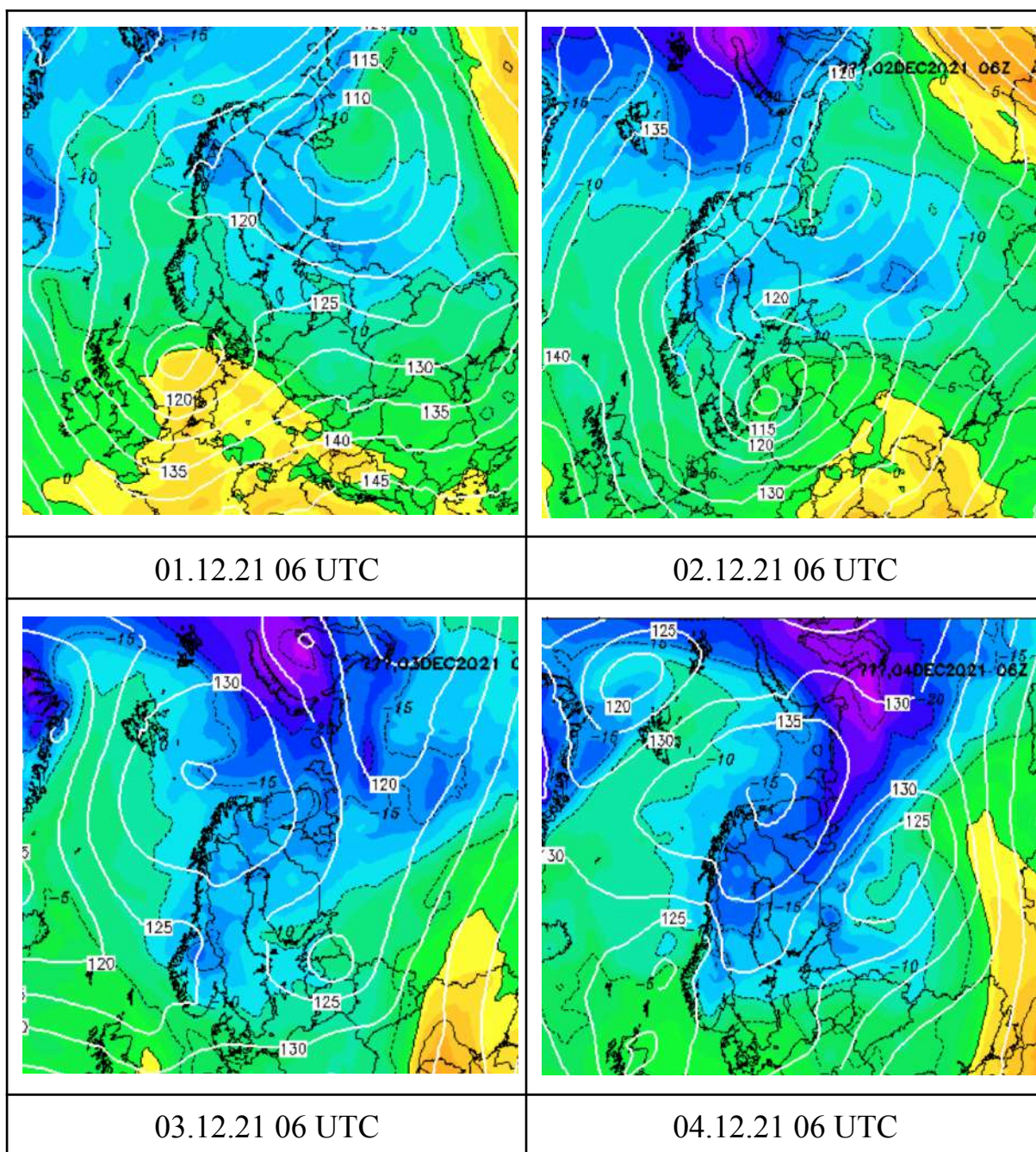


Рисунок 3.1.5 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за зимний период образования Скагерраского циклона.

Метод образования данного вихря характерен для осеннего периода.

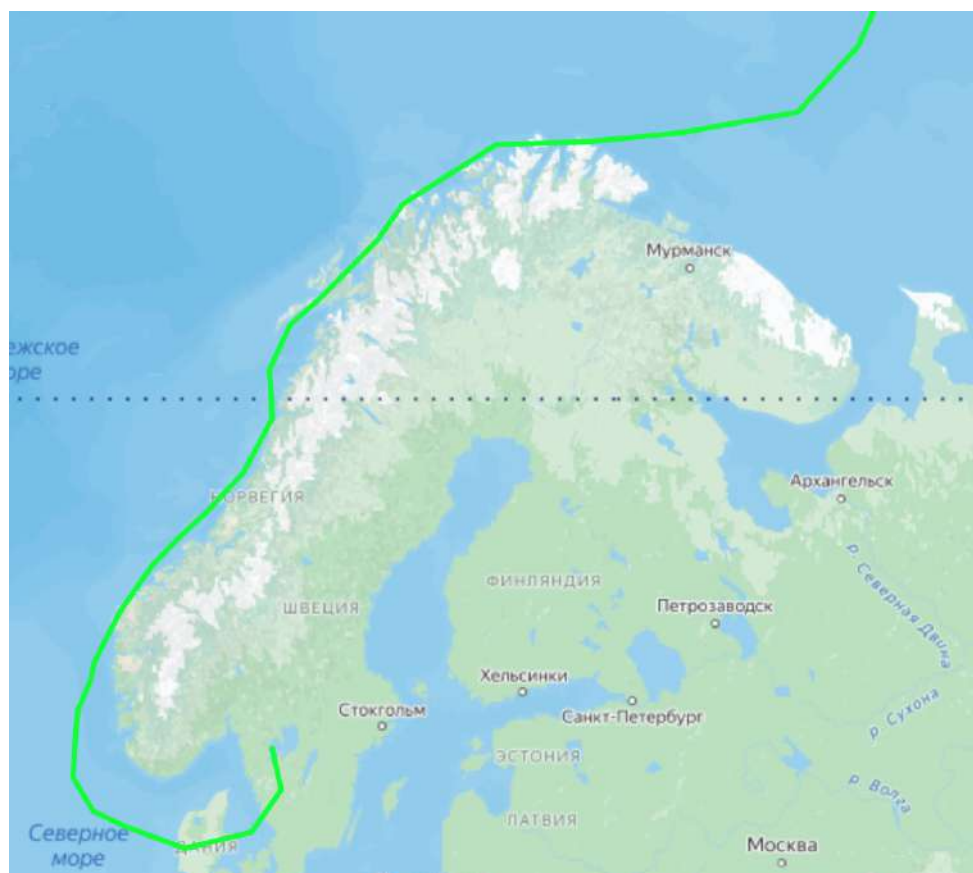


Рисунок 3.1.6 – Типичная траектория перемещения Скагерраковского циклона зимой.

Анализ траекторий циклонов показал, что основное направление перемещения орографических вихрей в зимний период наблюдается по территории Норвегии, огибая Скандинавские горы.

Весенний период

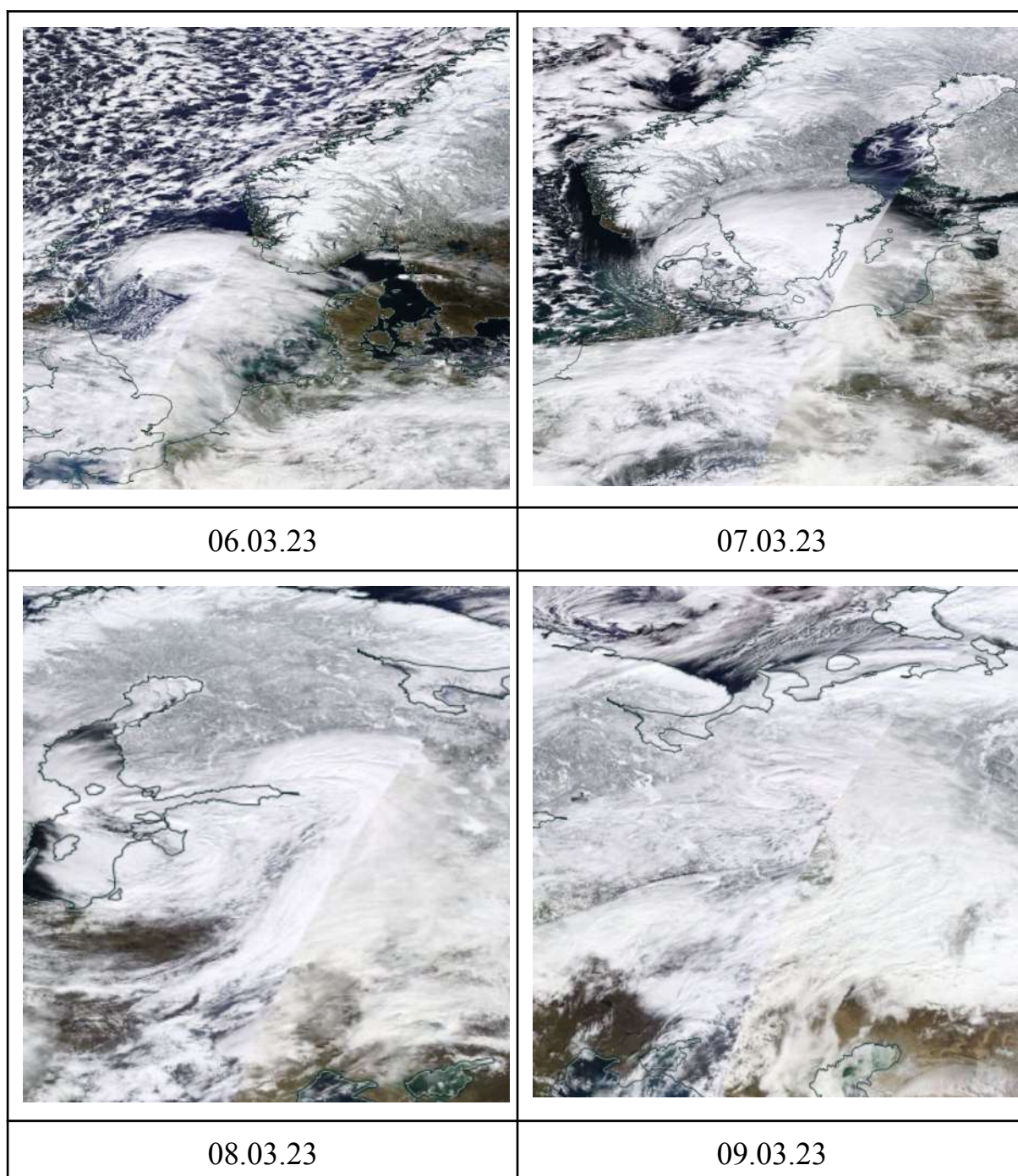


Рисунок 3.1.7 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в весенний период образования Скагерраского циклона.

На снимках изображено образование циклона в проливе Скагеррак в весенний период.

Облачность представлена в виде типичных для орфографического циклогенеза слоистых облаков.

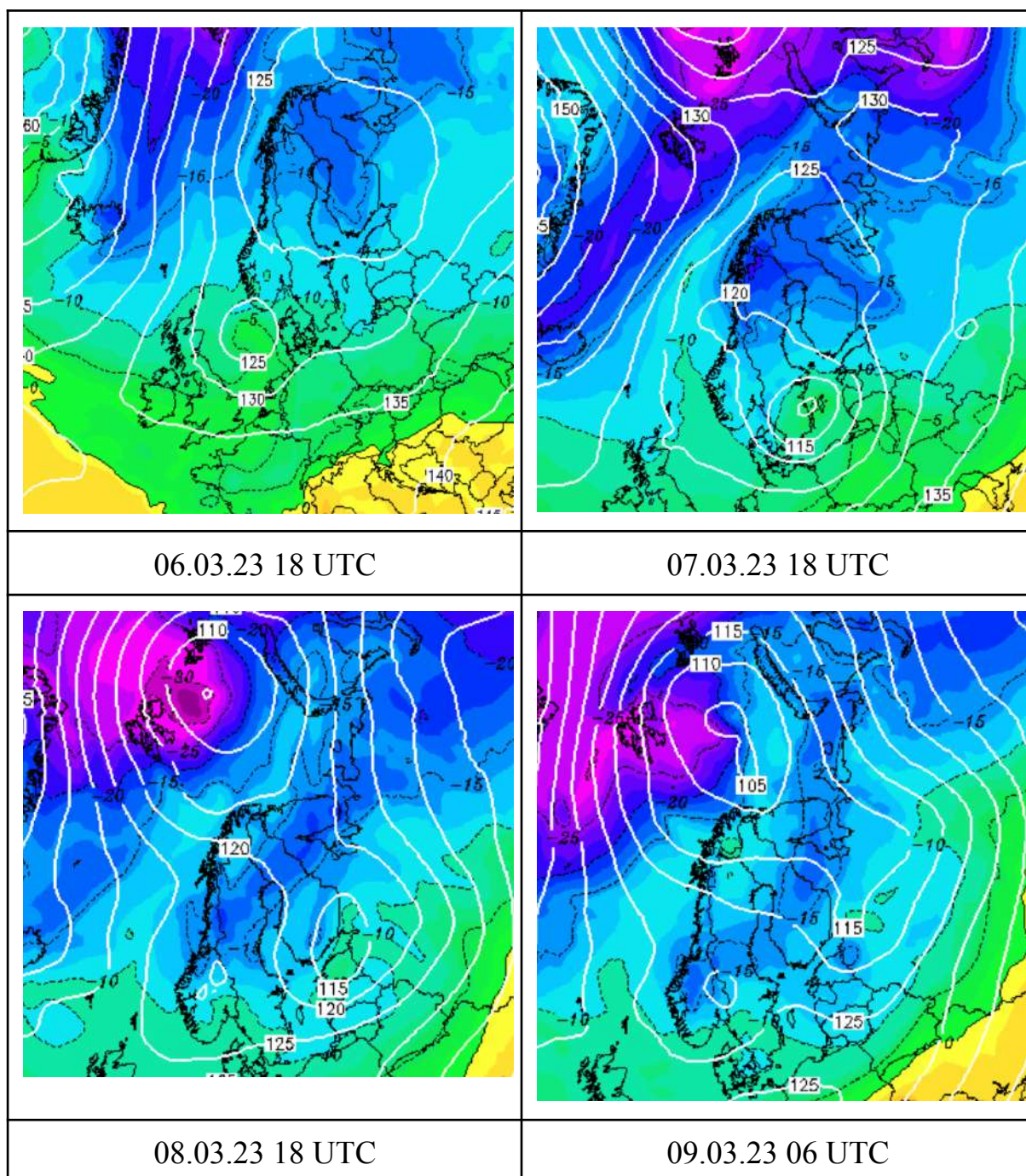


Рисунок 3.1.8 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за весенний период образования Скагерраского циклона.

Наблюдается зона раздела теплой и холодной воздушной массы, поэтому в ложбине материнского циклона образуется орографический вихрь, двигаясь против часовой стрелки по переверни основной циклона.

Траектории перемещения Скагерракского циклона в весенний и осенний периоды схожи. Единственное отличие состоит в том, что случаев стационарирования весной (7 случаев) больше, чем осенью (5 случаев).

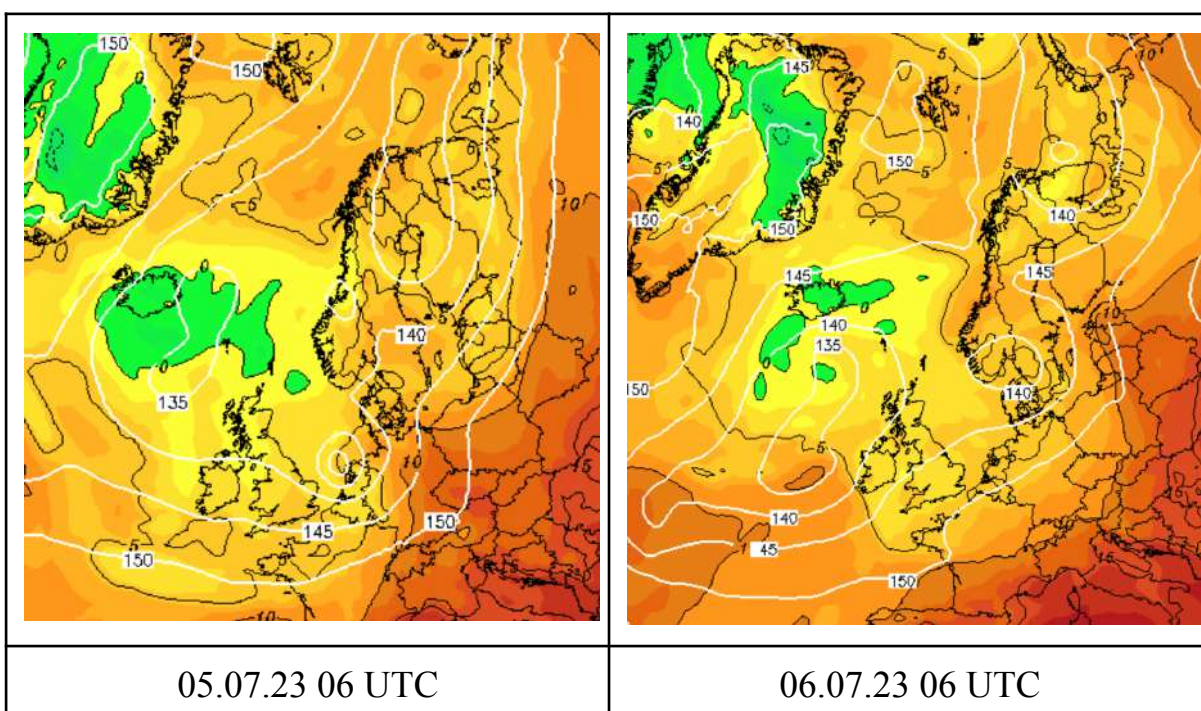
Летний период

	
05.07.23	06.07.23
	

07.07.23	
----------	--

Рисунок 3.1.9 – MODIS трехдневная последовательность спутниковых снимков в летний период образования Скагеррского циклона.

В летний период получается легко разглядеть циклогенез в проливе скагеррак, за счет того, что нету слоисто-кучевой облачности, характерной для холодных месяцев, за счет отсутствия прогрева поверхности и развития конвекции.



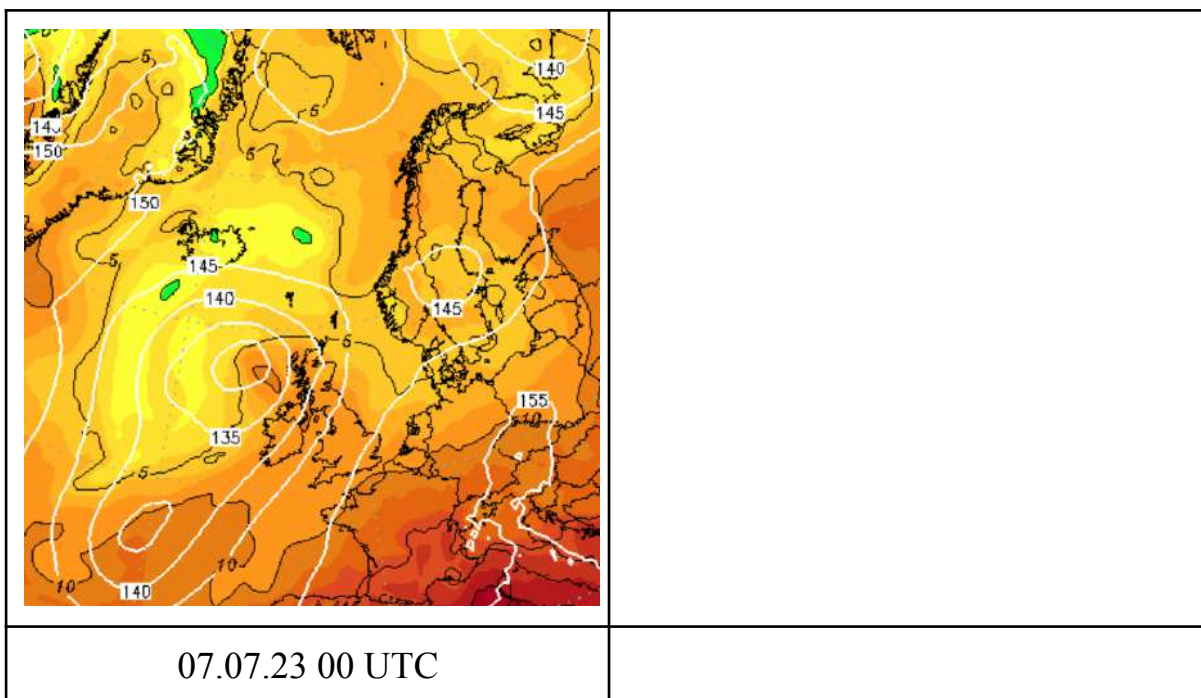


Рисунок 3.1.10 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за летний период образования Скагерраского циклона.

Анализ траекторий циклонов показал, что основное направление перемещения орографических вихрей в летний период наблюдается по территории суши в северо-западном направлении через Швецию, Финляндию, уходя к Новой земле.

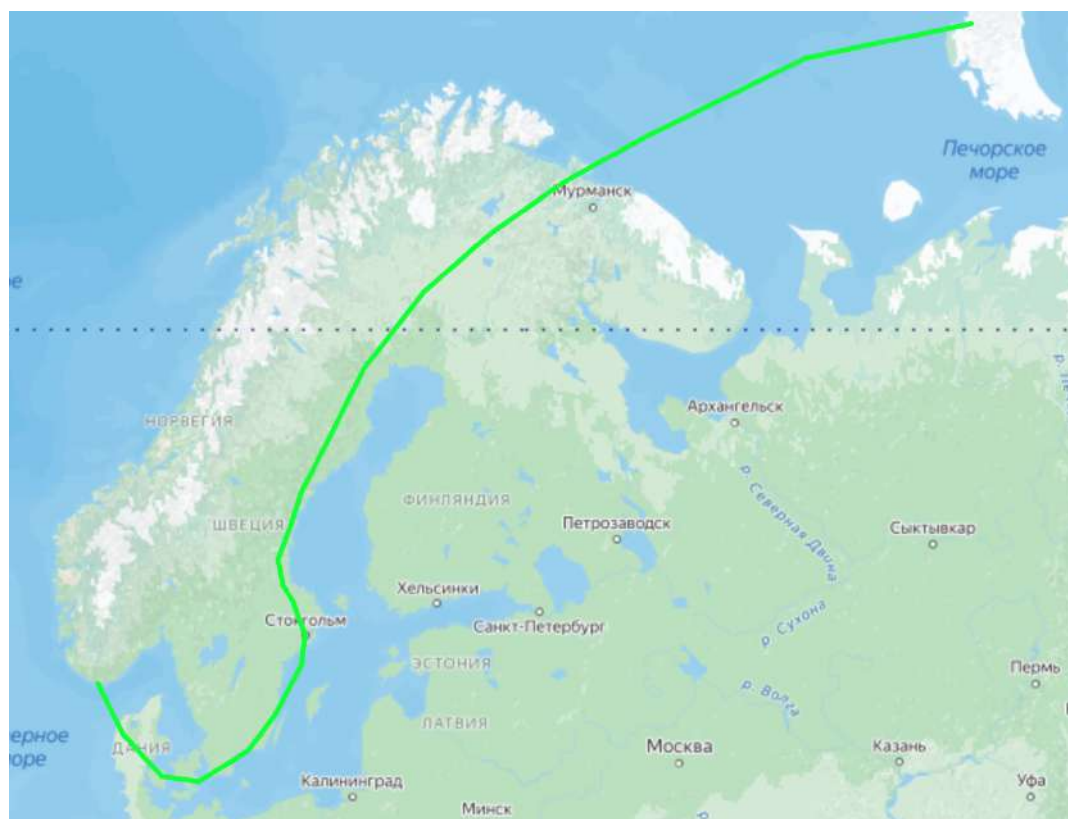


Рисунок 3.1.11 – Типичная траектория перемещения Скагерраковского циклона летом.

На основании анализа 84 случаев орографического циклогенеза (рис.3.1.12), можно сделать вывод, что у Скагерраковского циклона наиболее частым механизмом его образования является формирование частного циклона (41,7%), вторым по значимости—деформация холодного фронта (39,3%) и меньше всего случаев связаны с сегментацией циклона (19%).

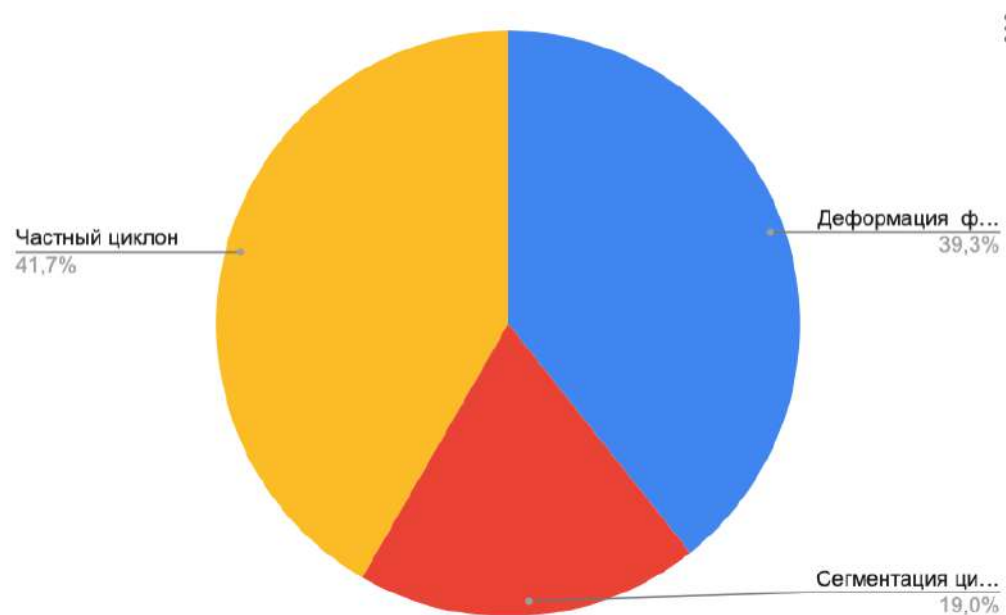
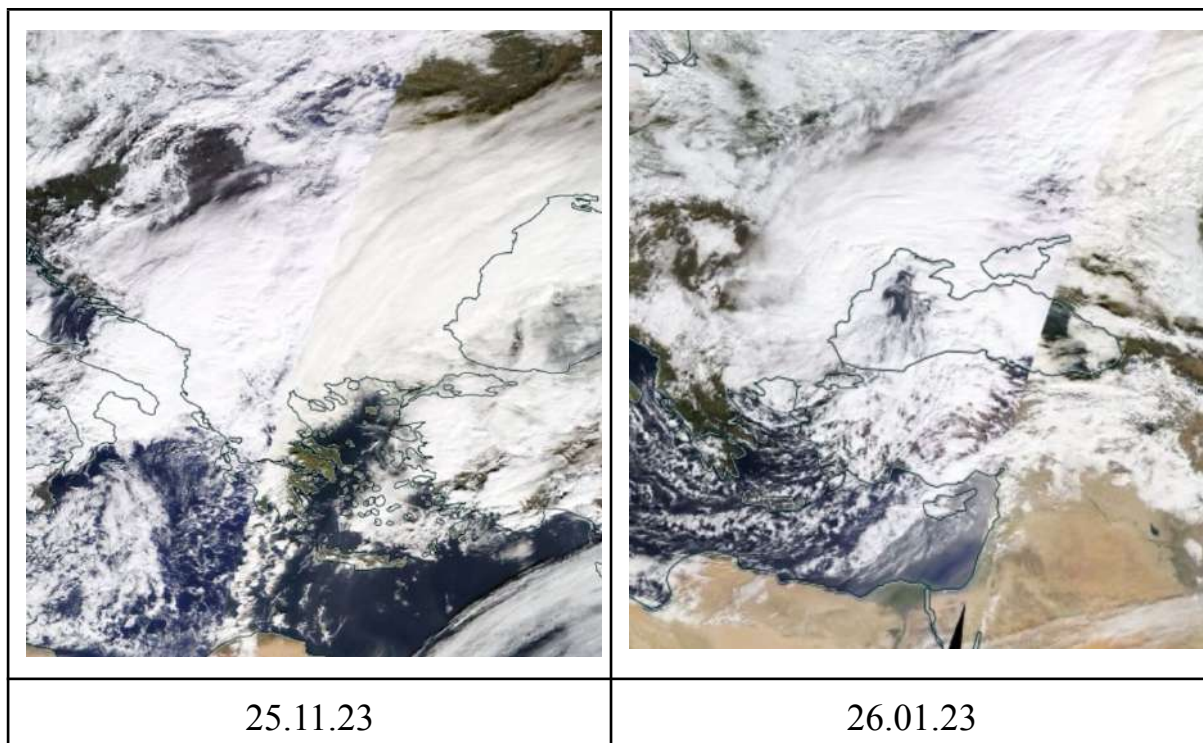


Рисунок 3.1.12 – Механизм формирования Скагерракских циклонов.

3.2 Спутниковый анализ Карпатского циклогенеза

Осенний период



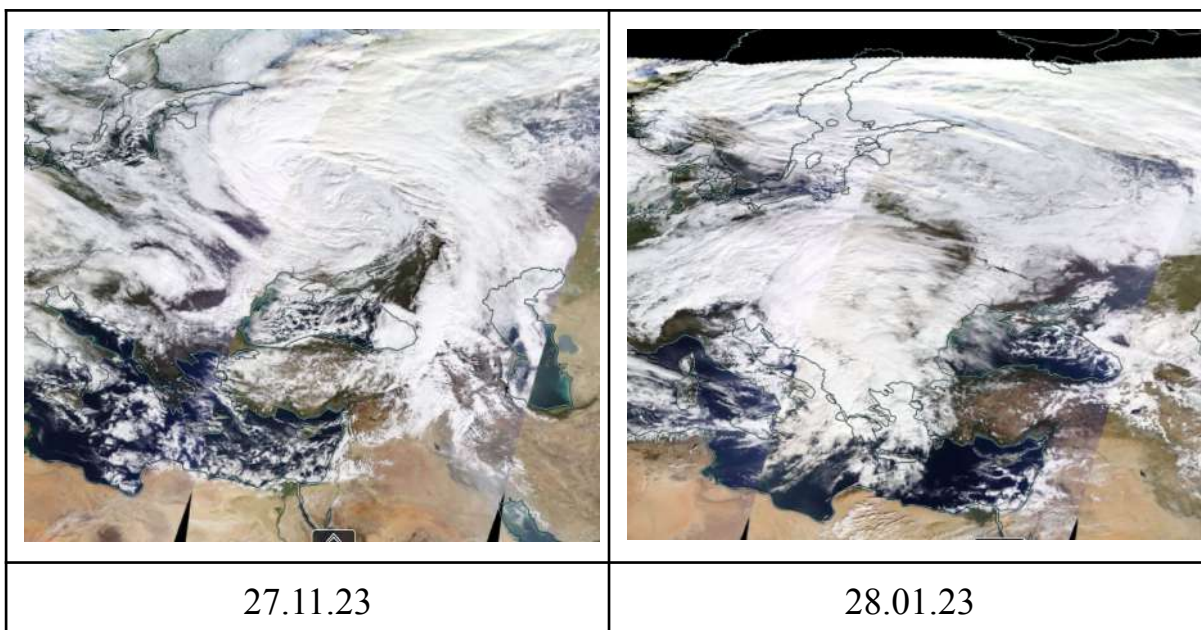
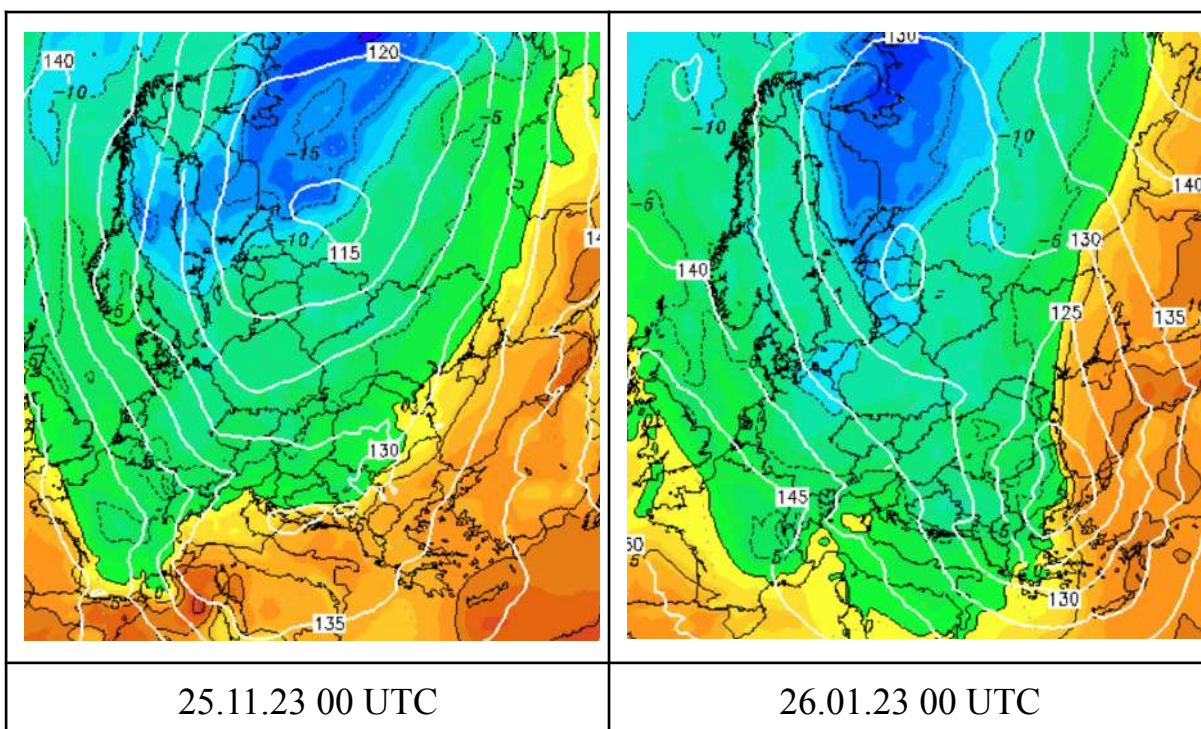


Рисунок 3.2.1 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в осенний период образования Карпатского циклона.

На снимках изображено образование циклона в Карпатах. На снимках отчетливо видно характерную слоистую облачность для горной местности.



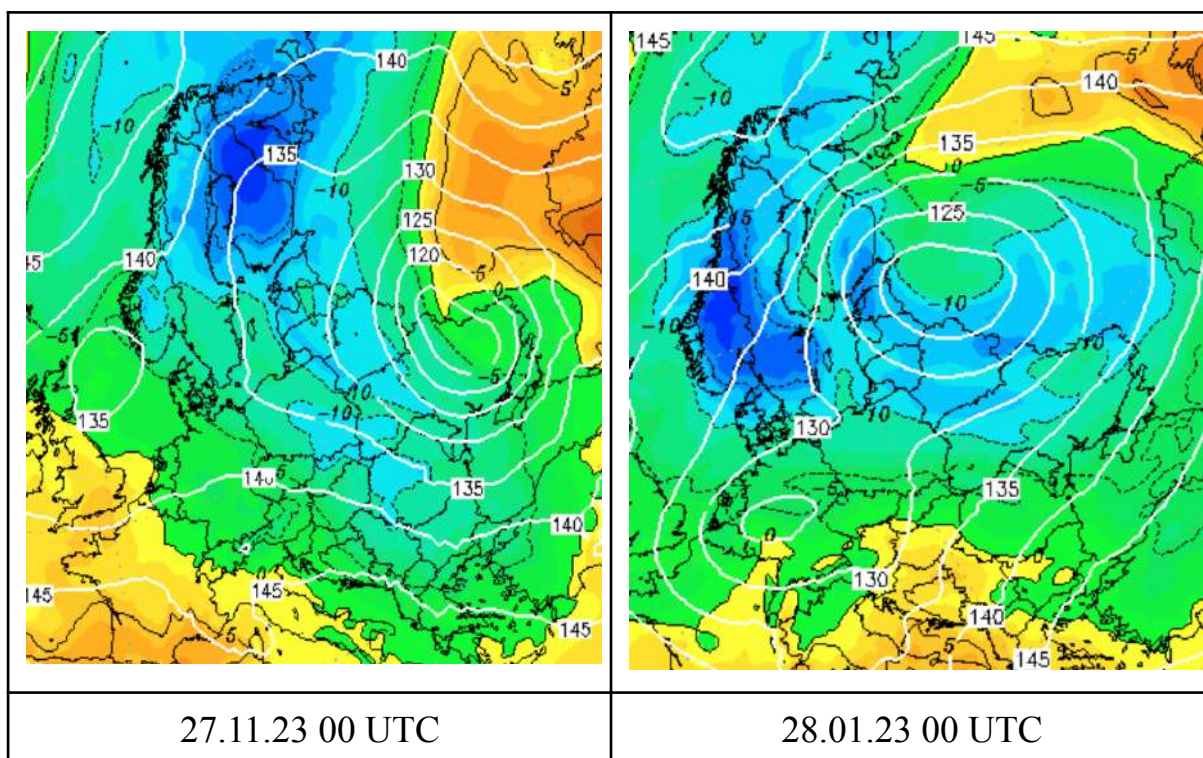


Рисунок 3.2.2 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за осенний период образования Карпатского циклона.

Анализируя синоптическое положение, можно сказать, что в ложбине основного/материнского циклона из-за неровностей рельефа, начинается процесс образования Карпатского циклона, который впоследствии движется вокруг “главного” вихря против часовой стрелки.

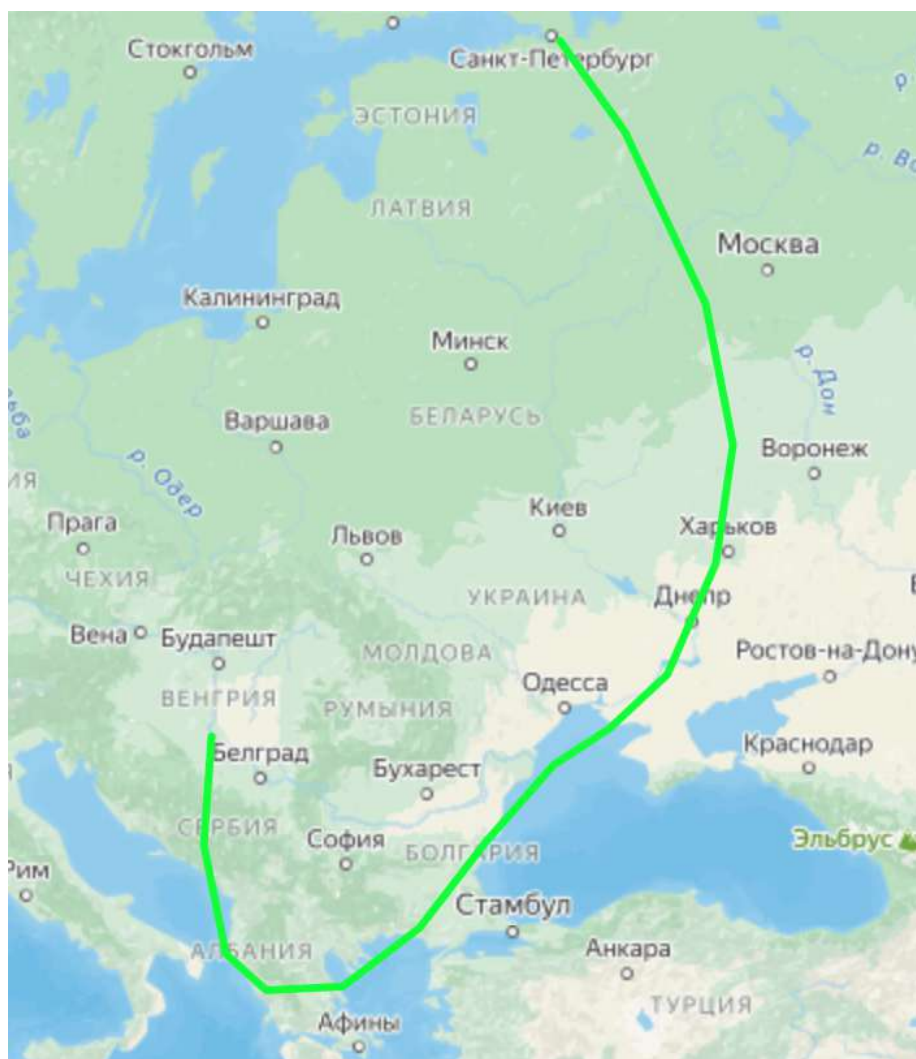


Рисунок 3.2.3– Типичная траектория перемещения Карпатского циклона в осенний период.

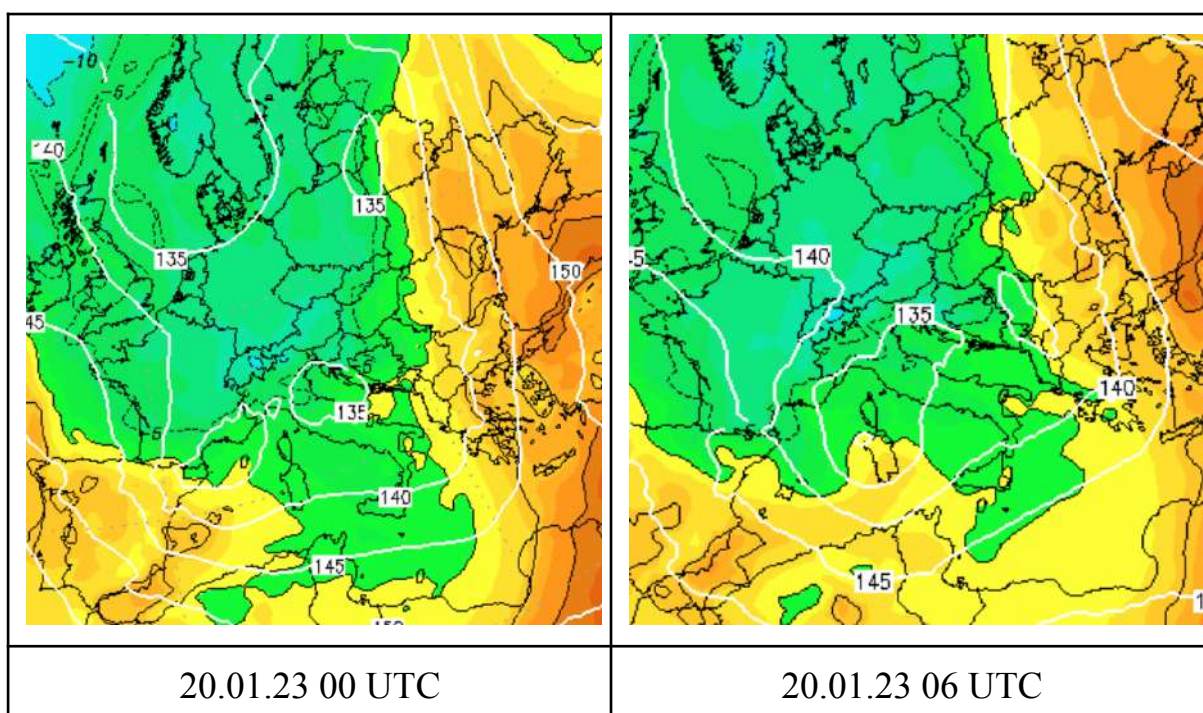
Анализ показал, что наблюдаются типичные траектории Карпатских циклонов осенью – сначала вихрь уходит на территорию Албании, впоследствии перемещается на северо-восток в акваторию Черного моря, достигая северо-западной территории России.

Зимний период



Рисунок 3.2.4 Спутниковый снимок Карпатского циклона за 20.01.23

Г.



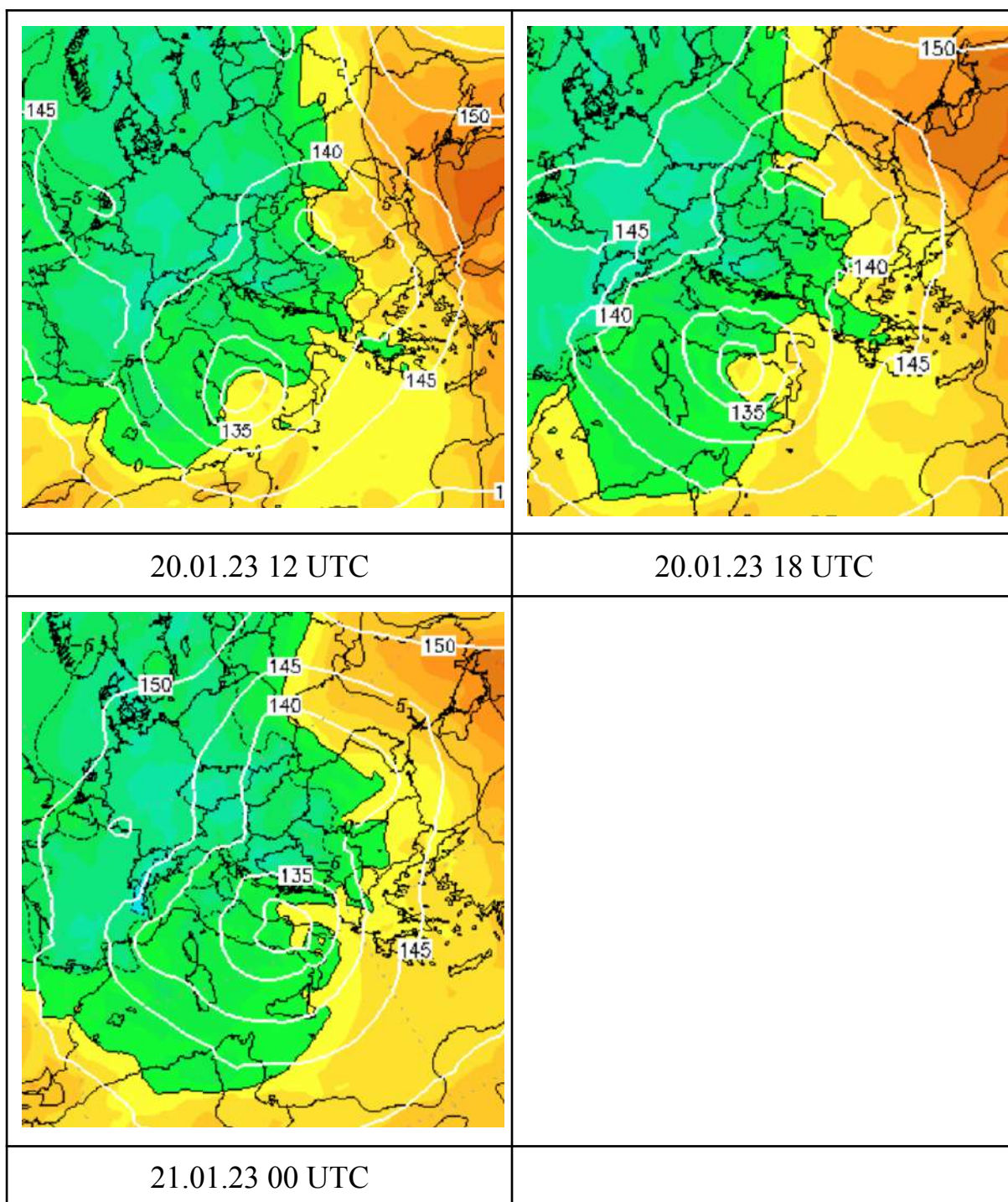


Рисунок 3.2.5 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за зимний период образования Карпатского циклона.

Синоптическое образование Карпатских циклонов в зимний и осенний период схожи.

Траектории перемещения зимнего и весеннего периода схожи. Зимой (13 случаев) и весной (15 случаев) циклоны чаще всего более стационарны в сравнении с осенью (5 случаев) и летом (9 случаев).

Весенний период

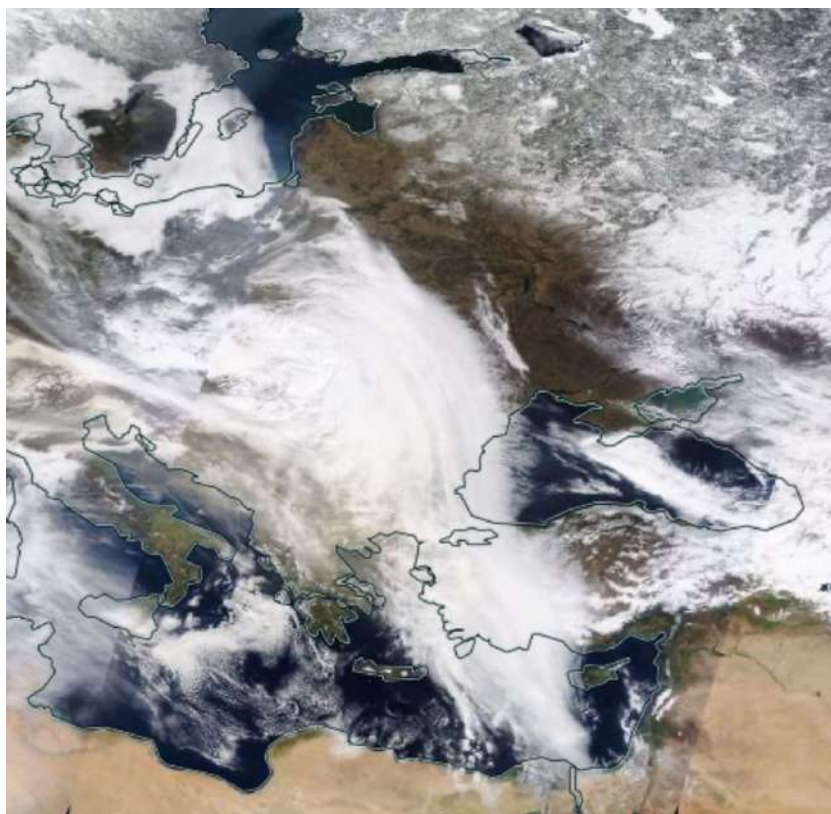


Рисунок 3.2.6 Спутниковый снимок Карпатского циклона за 16.03.22

Г.

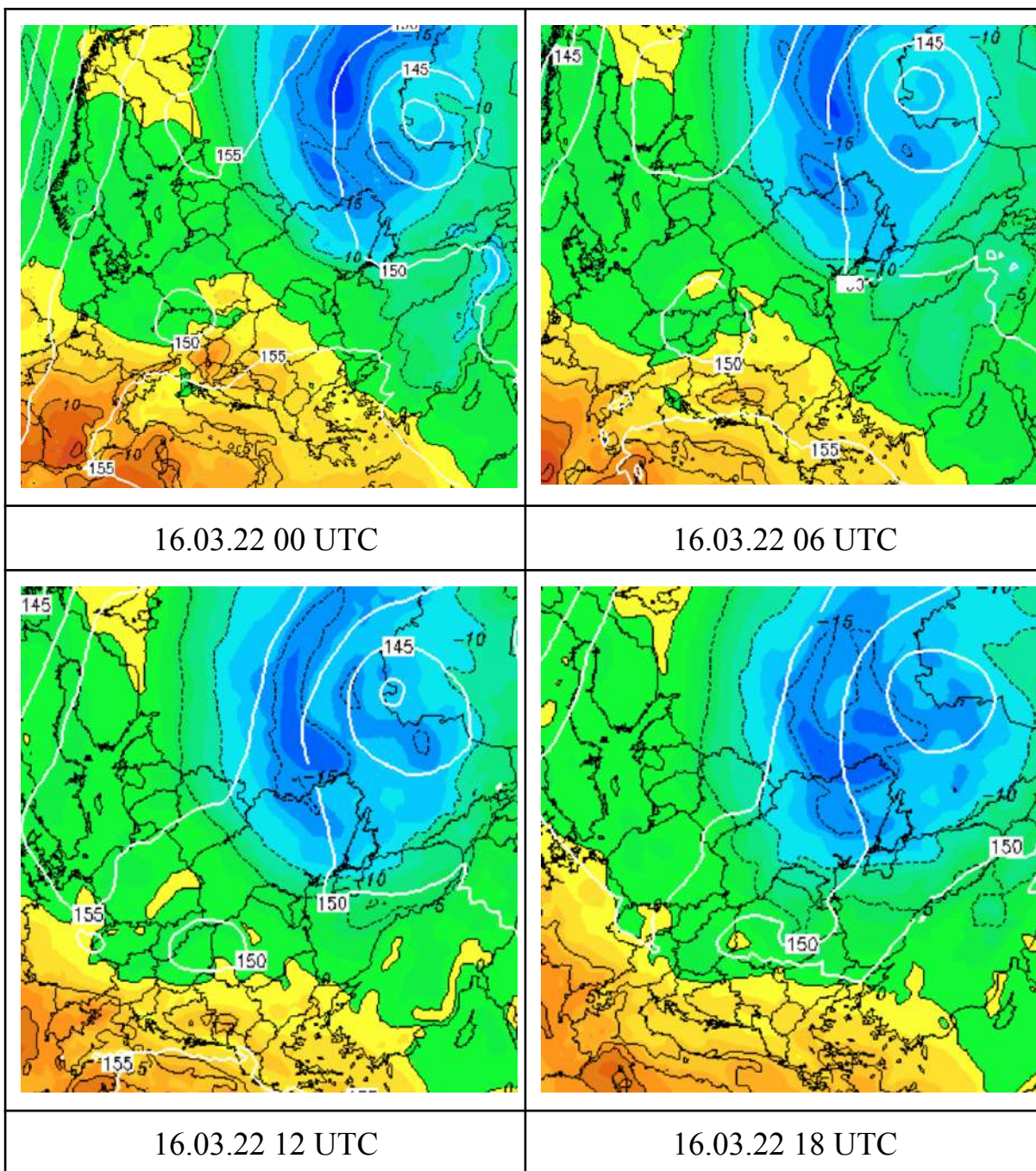


Рисунок 3.2.7 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за весенний период образования Карпатского циклона.

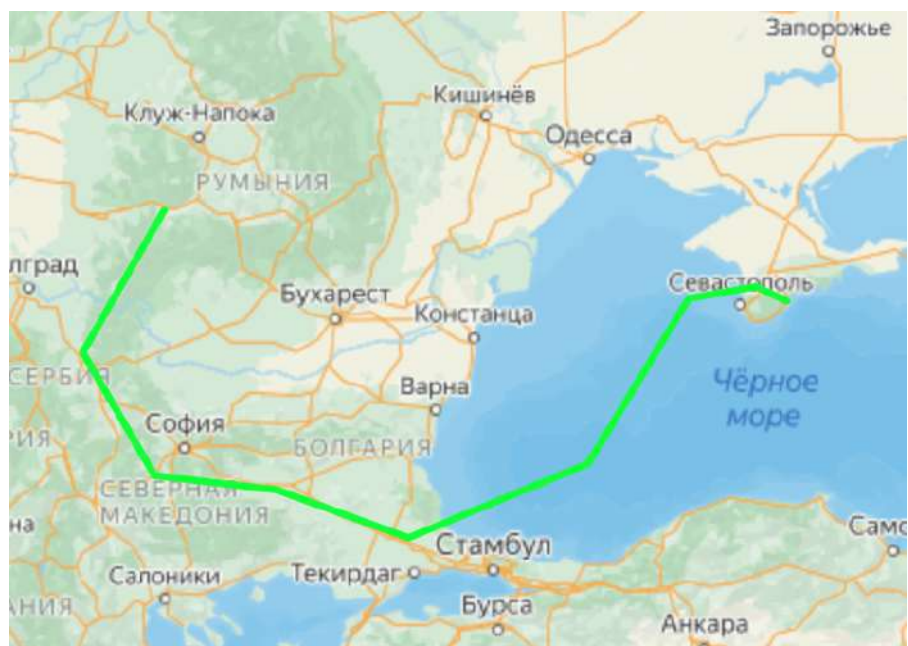


Рисунок 3.2.8— Типичная траектория перемещения Карпатского циклона в весенний период.

Анализируя траектории перемещения Карпатских циклонов, можно сделать вывод, что они либо стационарируют, либо перемещаются в акваторию Чёрного моря, затухая там

Летний период

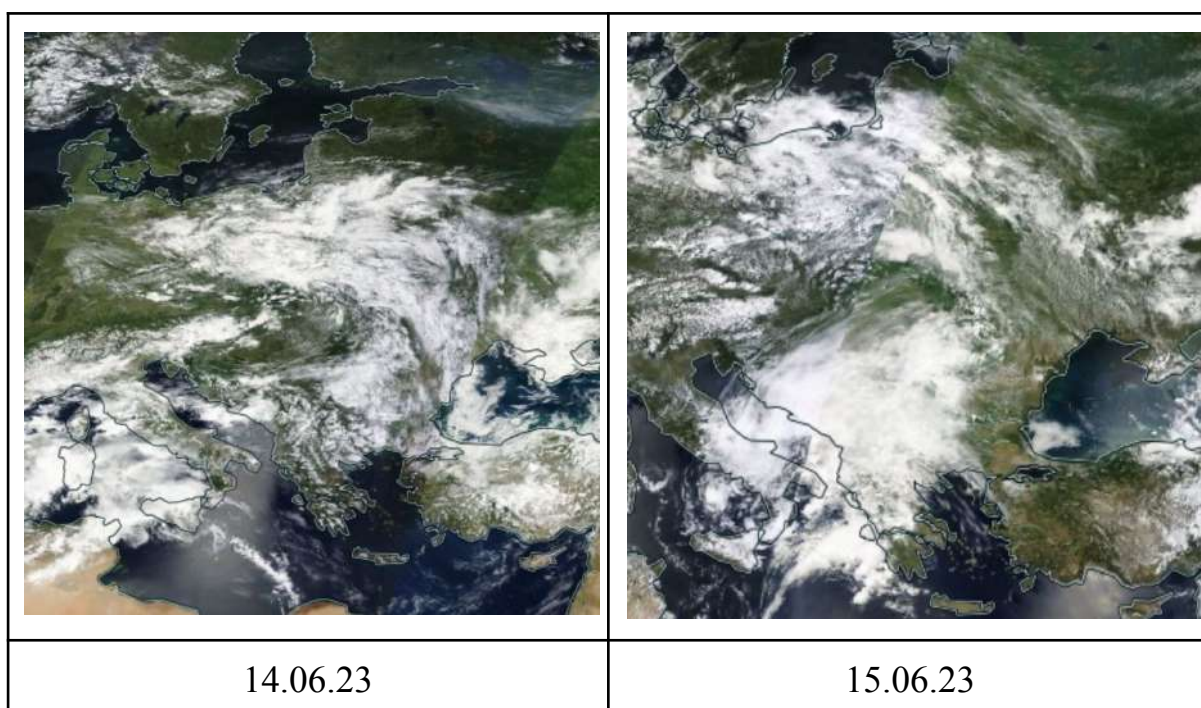
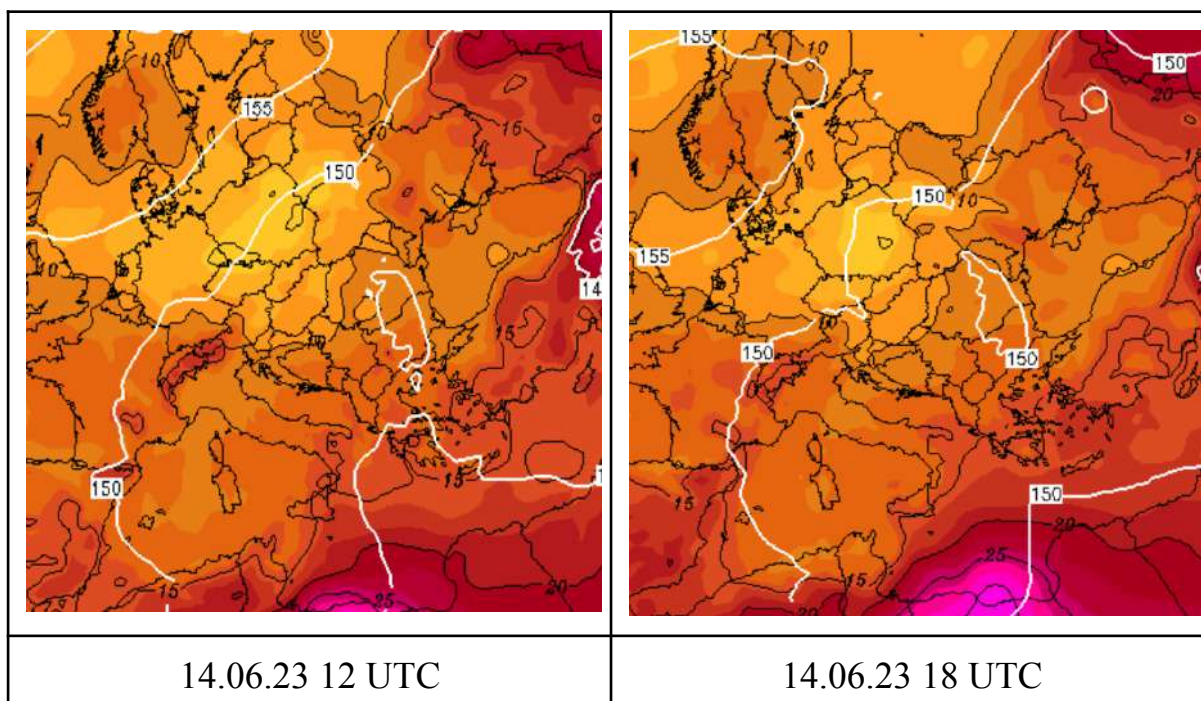


Рисунок 3.2.9 – MODIS двухдневная последовательность спутниковых снимков в летний период образования Карпатского циклона.



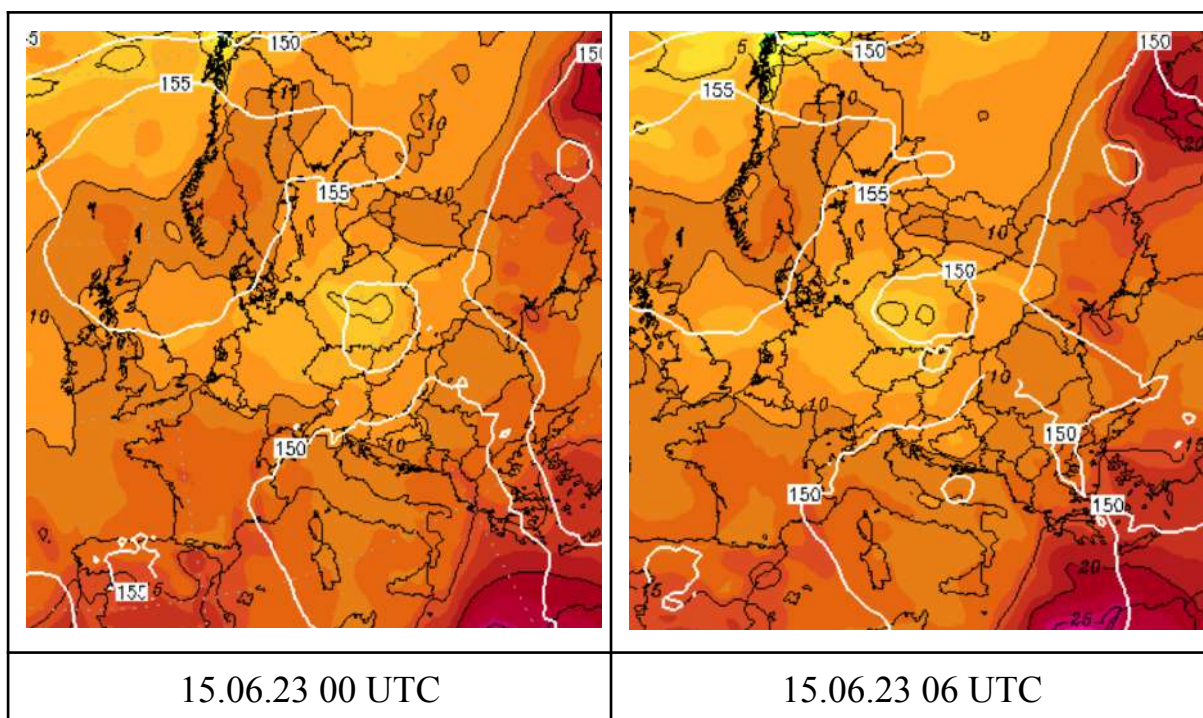


Рисунок 3.2.10 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за летний период образования Карпатского циклона.

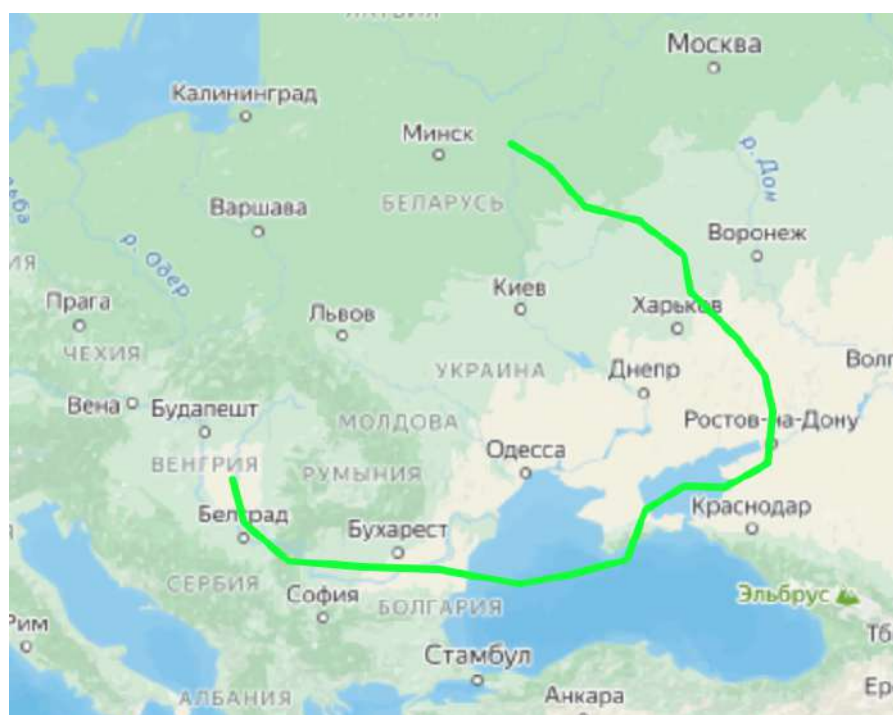


Рисунок 3.2.11– Типичная траектория перемещения Карпатского циклона в летний период.

Анализ траекторий летом показал, что они двигаются в северо-восточном направлении пересекая Черное море, с выходом в южные регионы России и в Беларусь.

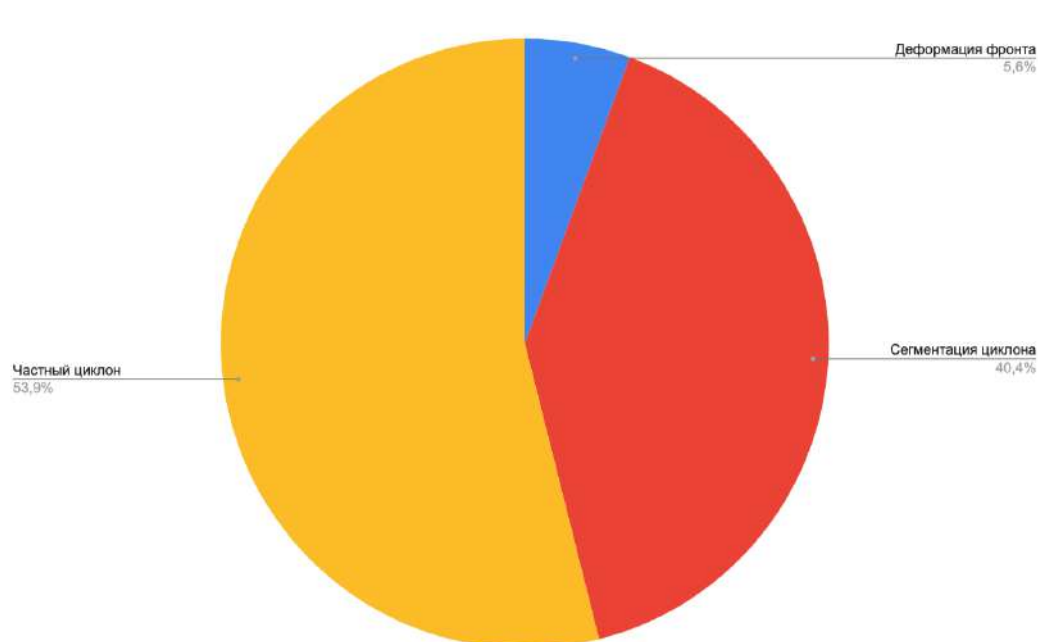


Рисунок 3.2.12 Механизм формирования Карпатских циклонов.

У Карпатских циклонов наиболее частым механизмом его образования является формирование частного циклона (53,9%), вторым по значимости является сегментация циклона – (40,4%) и меньше всего случаев связаны с деформацией фронта(5,6%).

3.3 Спутниковый анализ Гёнуэзского циклогенеза

Осенний период

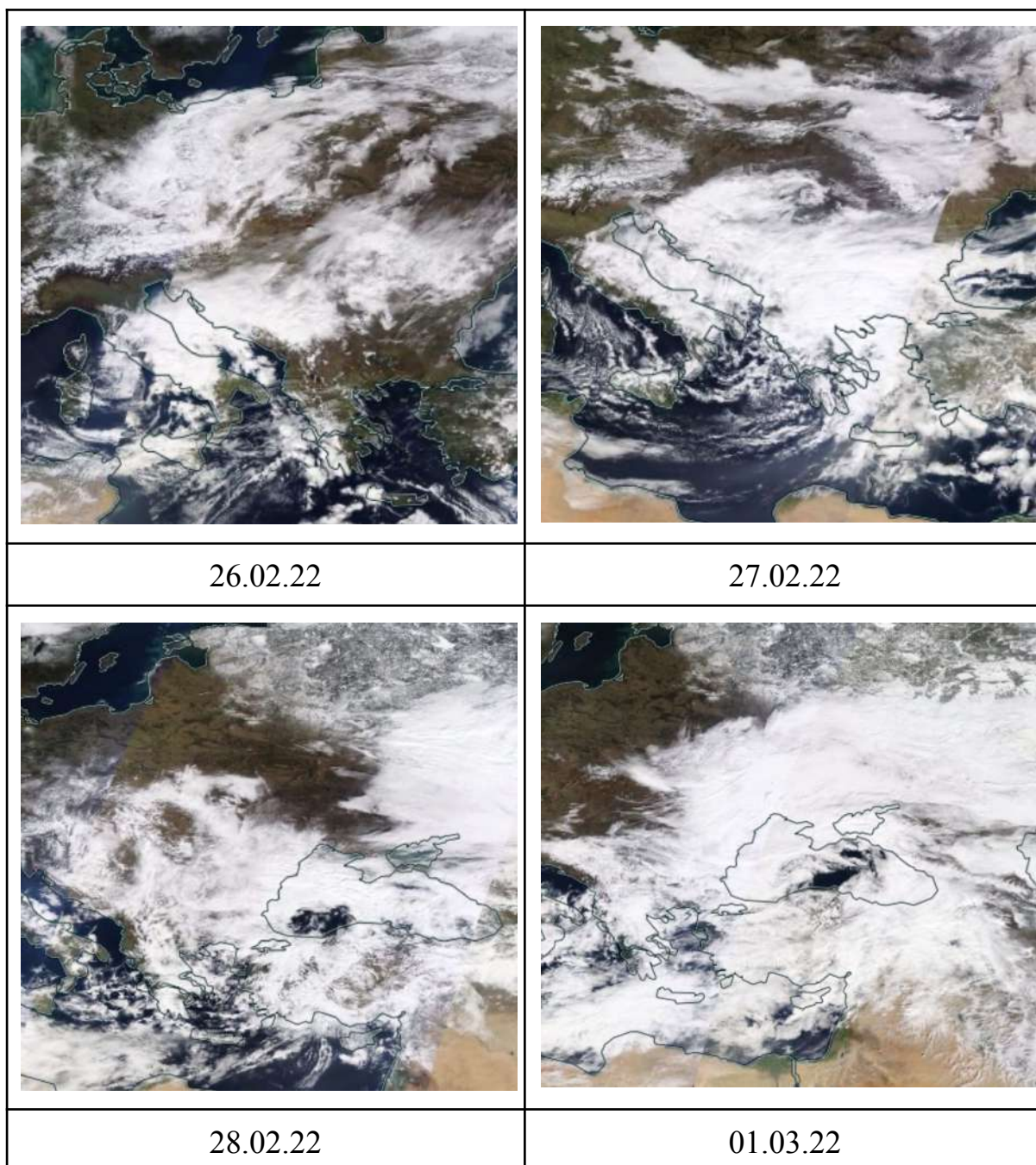
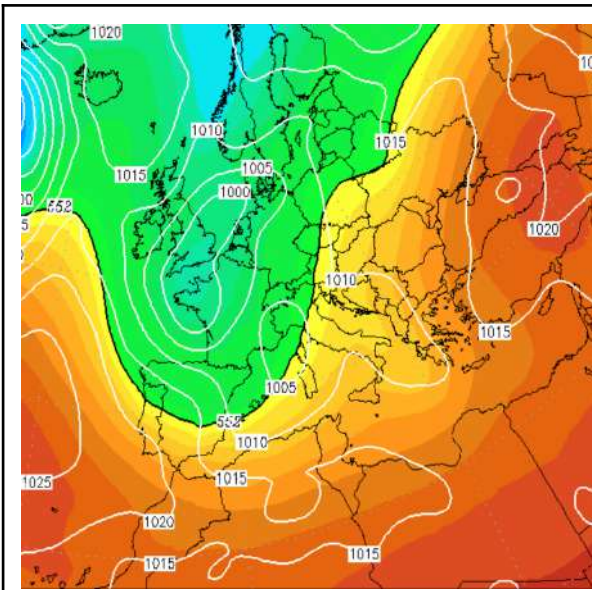
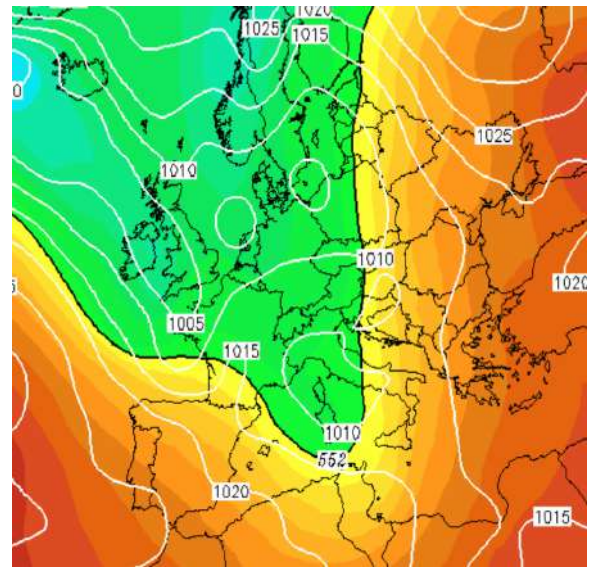


Рисунок 3.3.1 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в осенний период образования Гёнуэзского циклона.

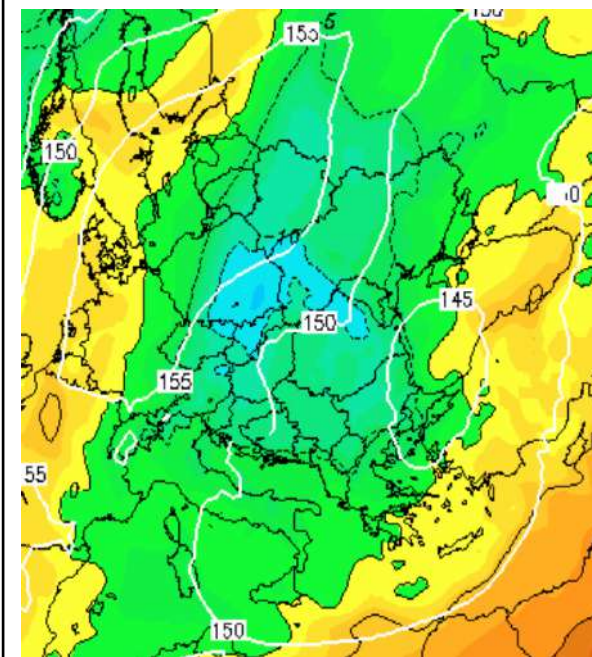
На изображениях выше (рис. 3.3.1) изображена типичная ситуация образования гёнуэзского циклона. Температурный контраст между сушей и морем, а также зарождение в ложбине основного-материнского циклона.



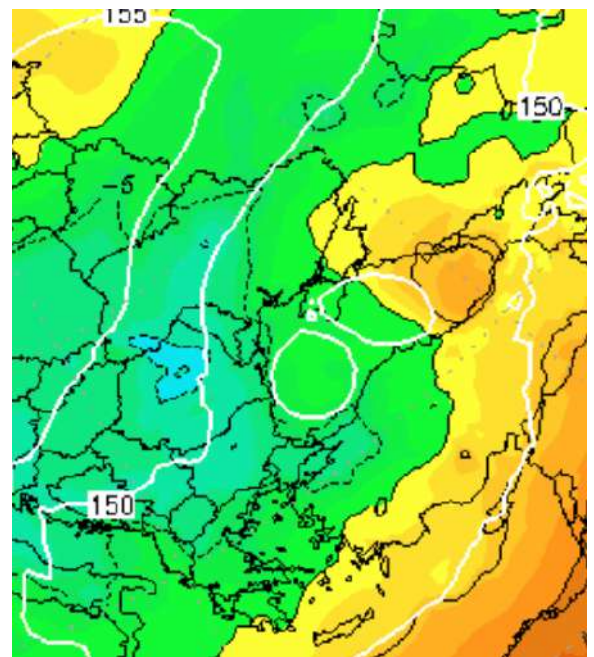
26.02.22 06 UTC



27.02.22 00 UTC



28.02.22 06 UTC



01.03.22 00 UTC

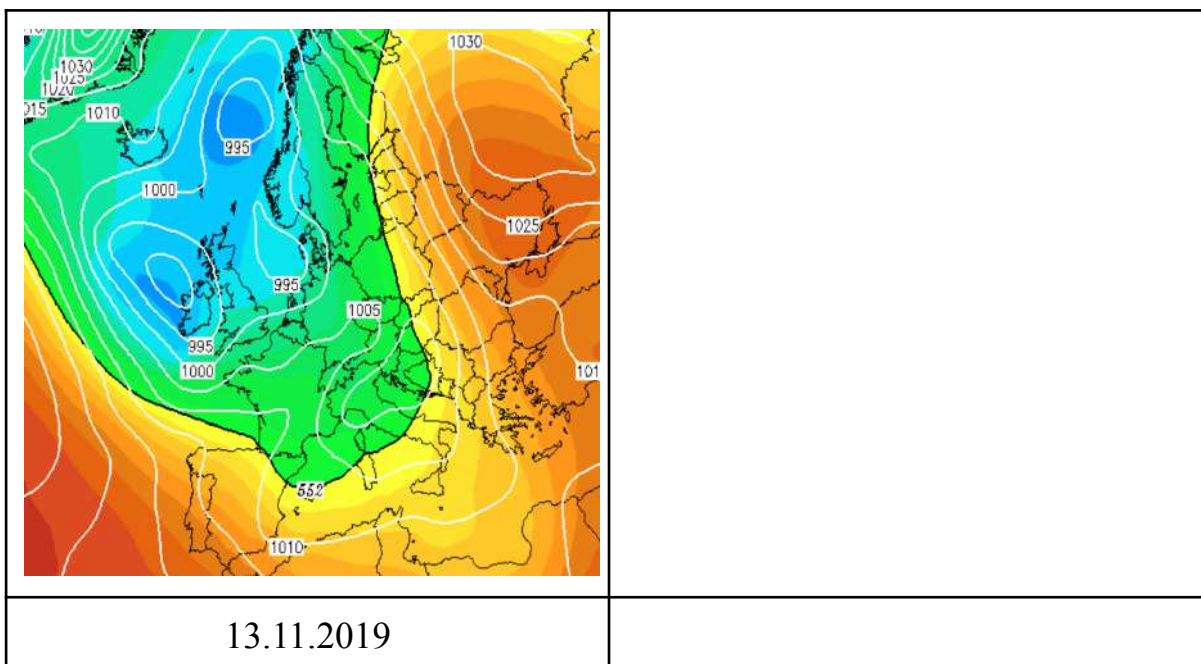


Рисунок 3.3.2 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за осенний период образования Генуэзского циклона.

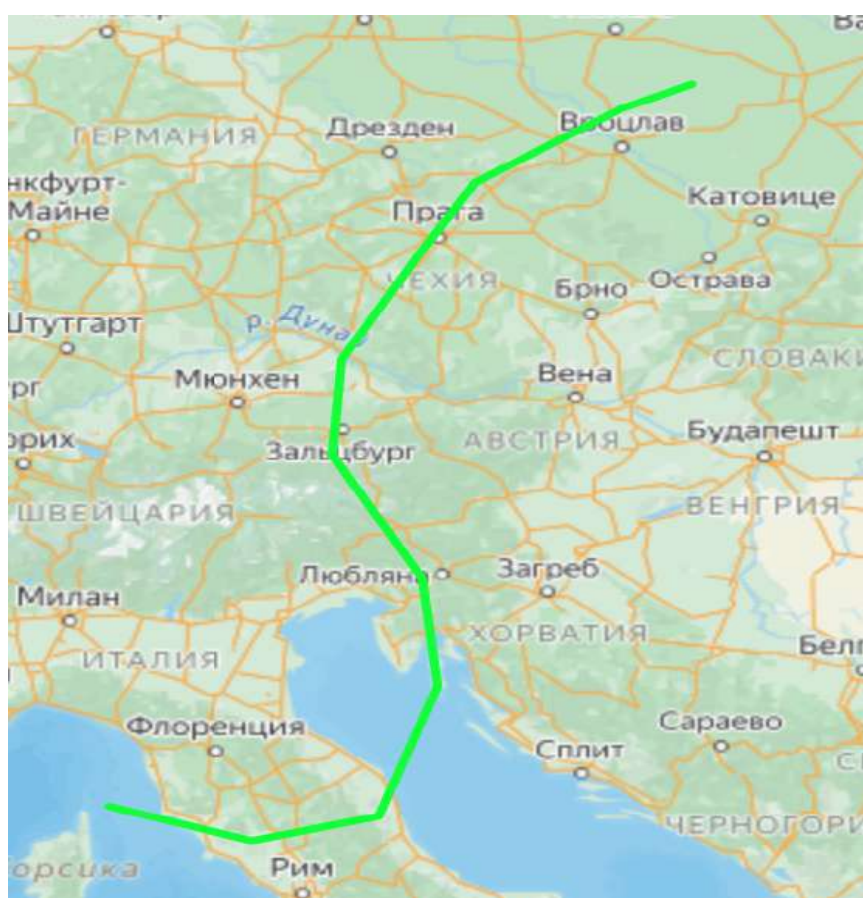


Рисунок 3.3.3– Типичная траектория перемещения Генуэзского циклона в осенний период.

Осенью – либо стационарируют в Генуэзском проливе, либо переваливают на территорию Польши.

Зимний период

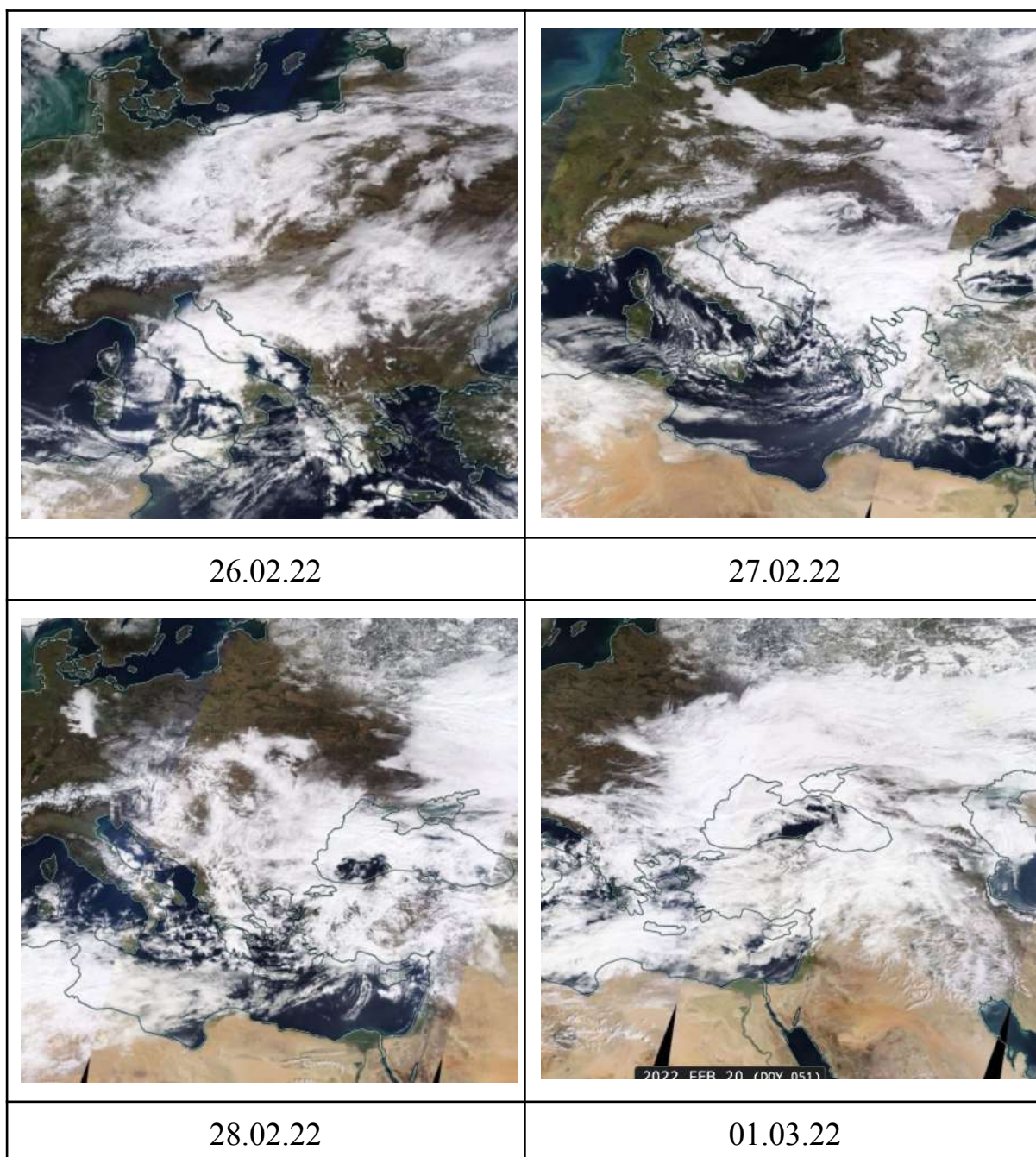


Рисунок 3.3.4 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в зимний период образования Генуэзского циклона.

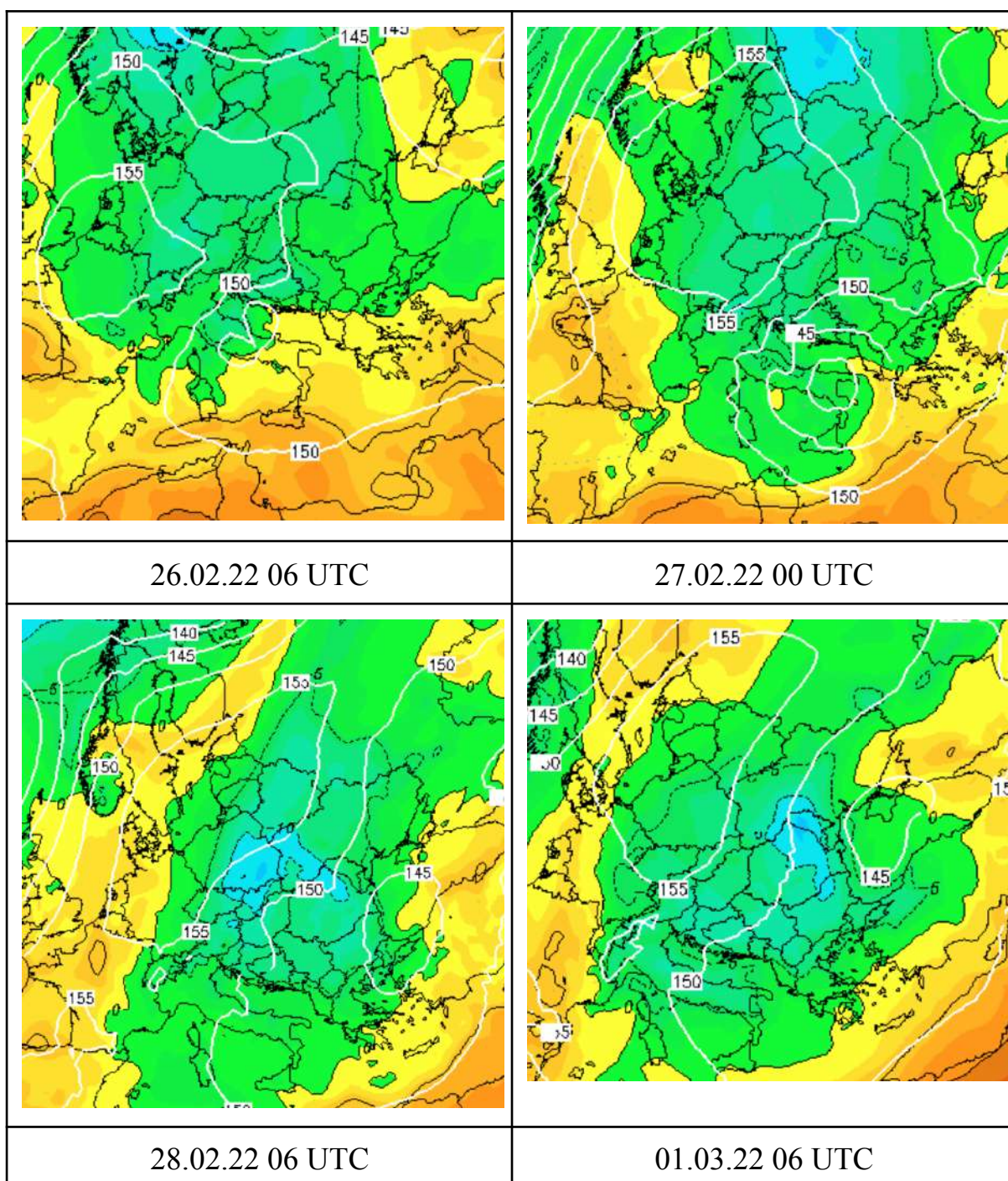


Рисунок 3.3.5 –GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за зимний период образования Генуэзского циклона.

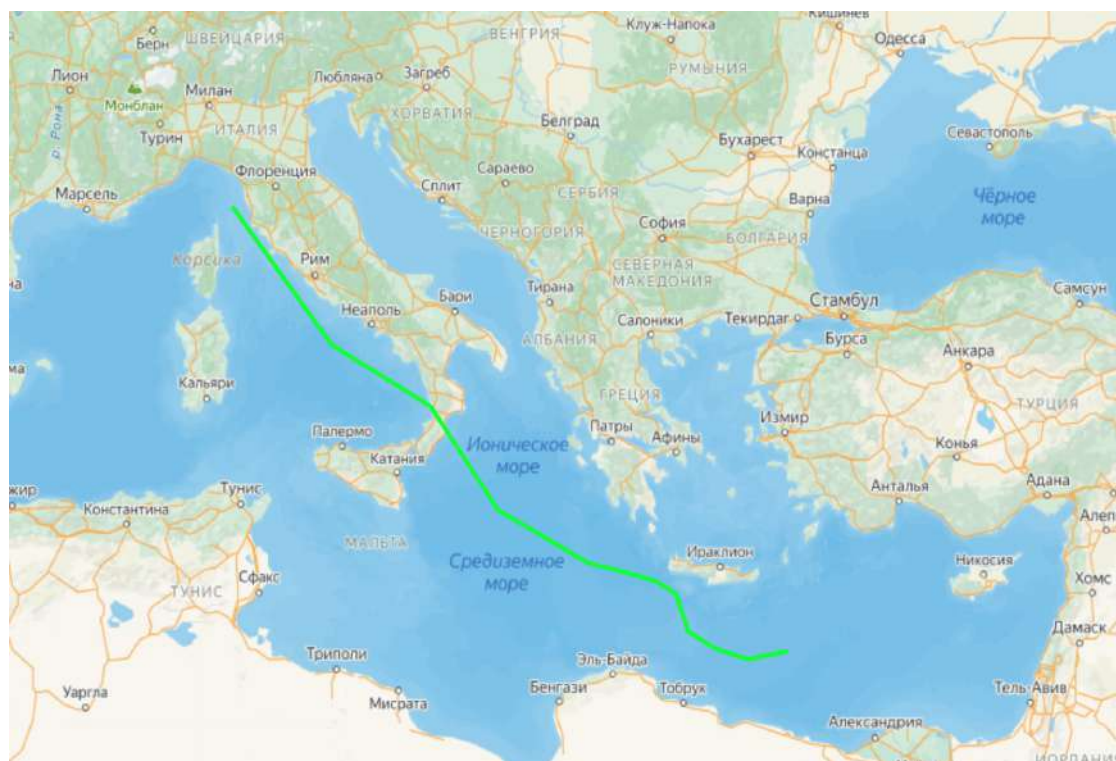


Рисунок 3.3.6– Типичная траектория перемещения Генуэзского циклона в зимний период.

Анализ траекторий циклонов показал, что в зимний период перемещаются над поверхностью Средиземного моря в юго-восточном направлении к берегам северной Африки (рис.3.3.5).

Весенний период

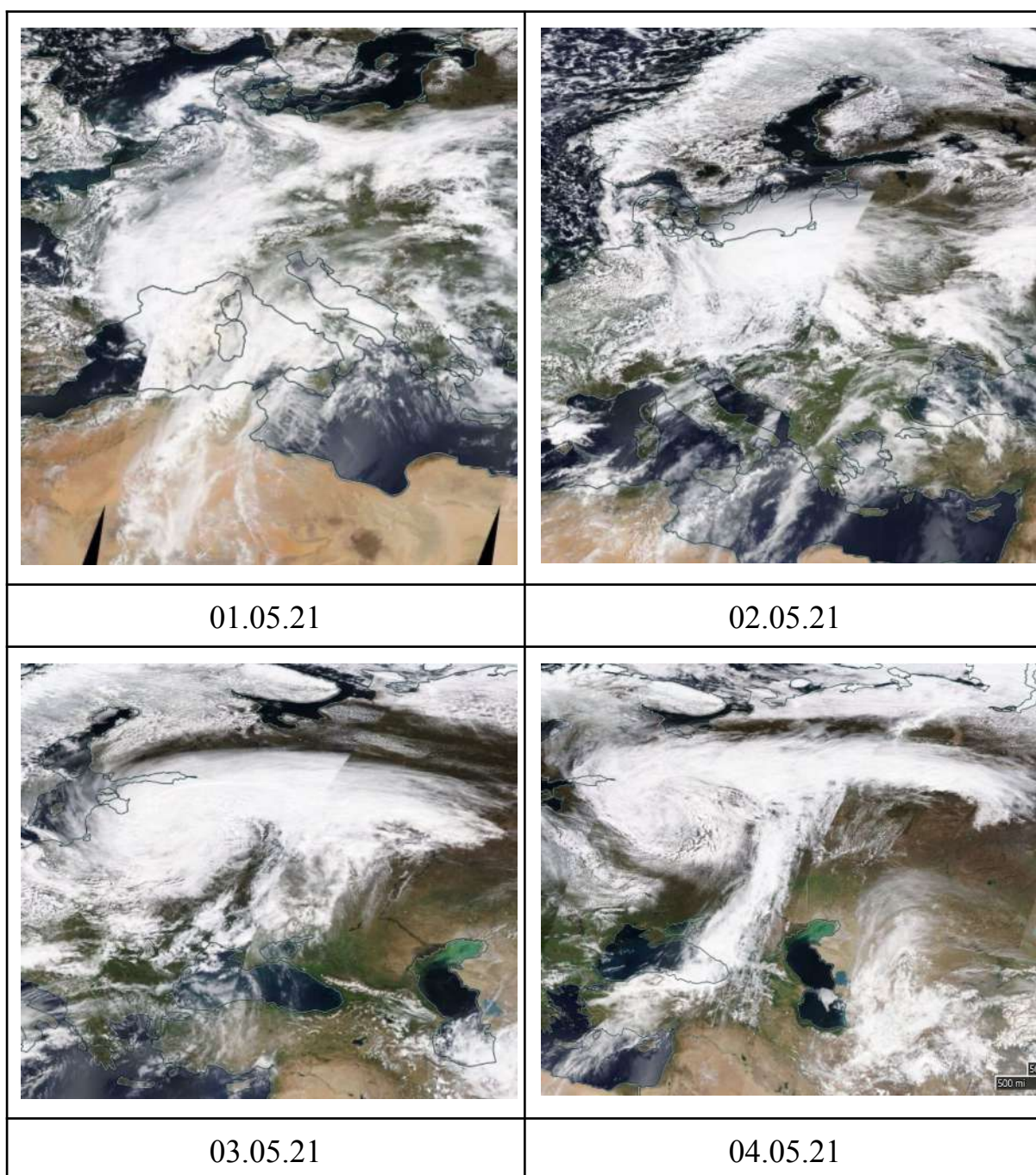


Рисунок 3.3.7 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в весенний период образования Гёнузского циклона.

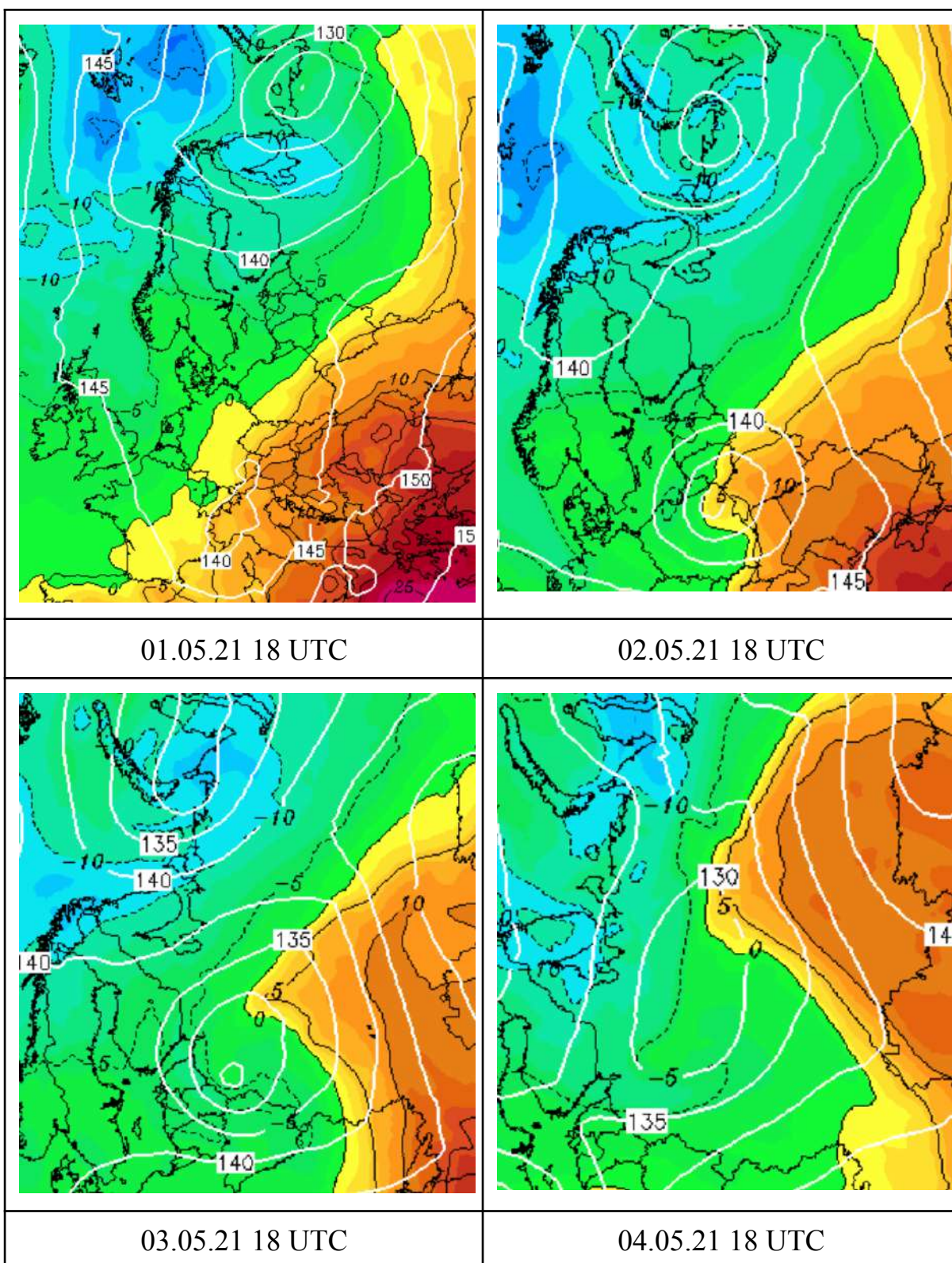


Рисунок 3.3.8 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за весенний период образования Генуэзского циклона.

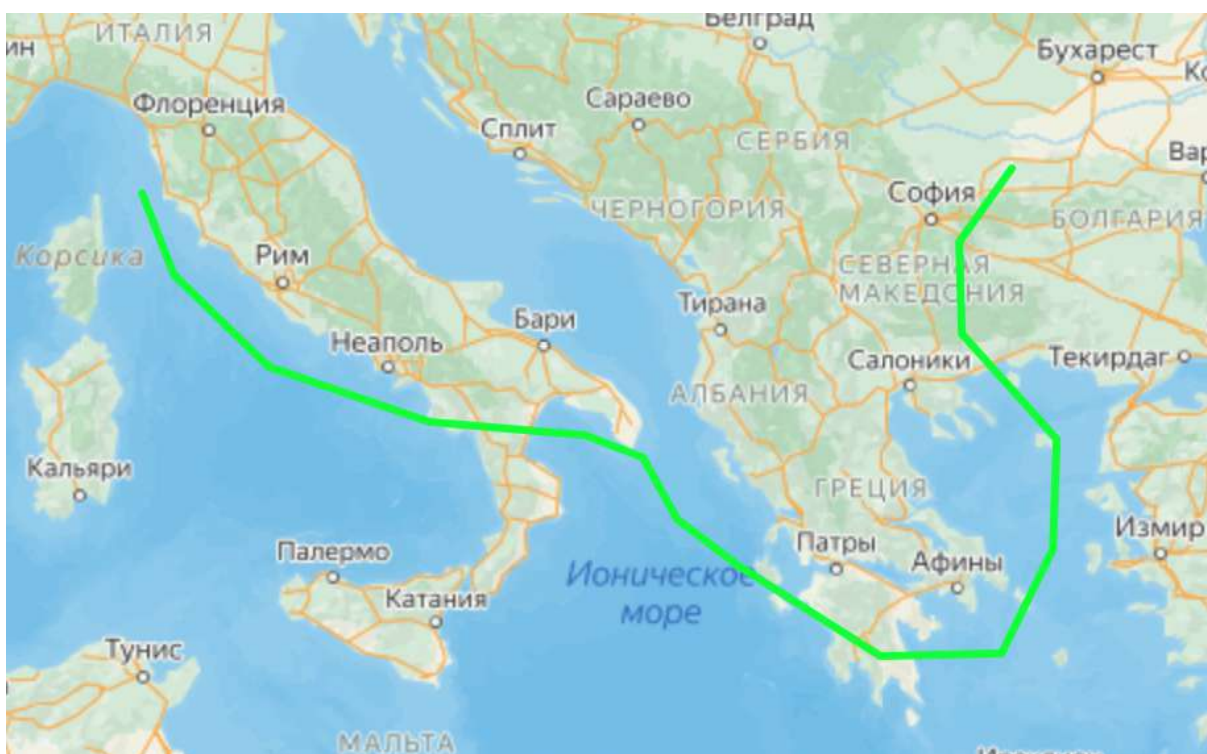


Рисунок 3.3.9– Типичная траектория перемещения Генуэзского циклона в весенний период.

Весной циклоны из Генуи перемещаются над поверхностью моря в северо-западном направлении в акваторию Эгейского моря, достигая Карпатских гор

Летний период

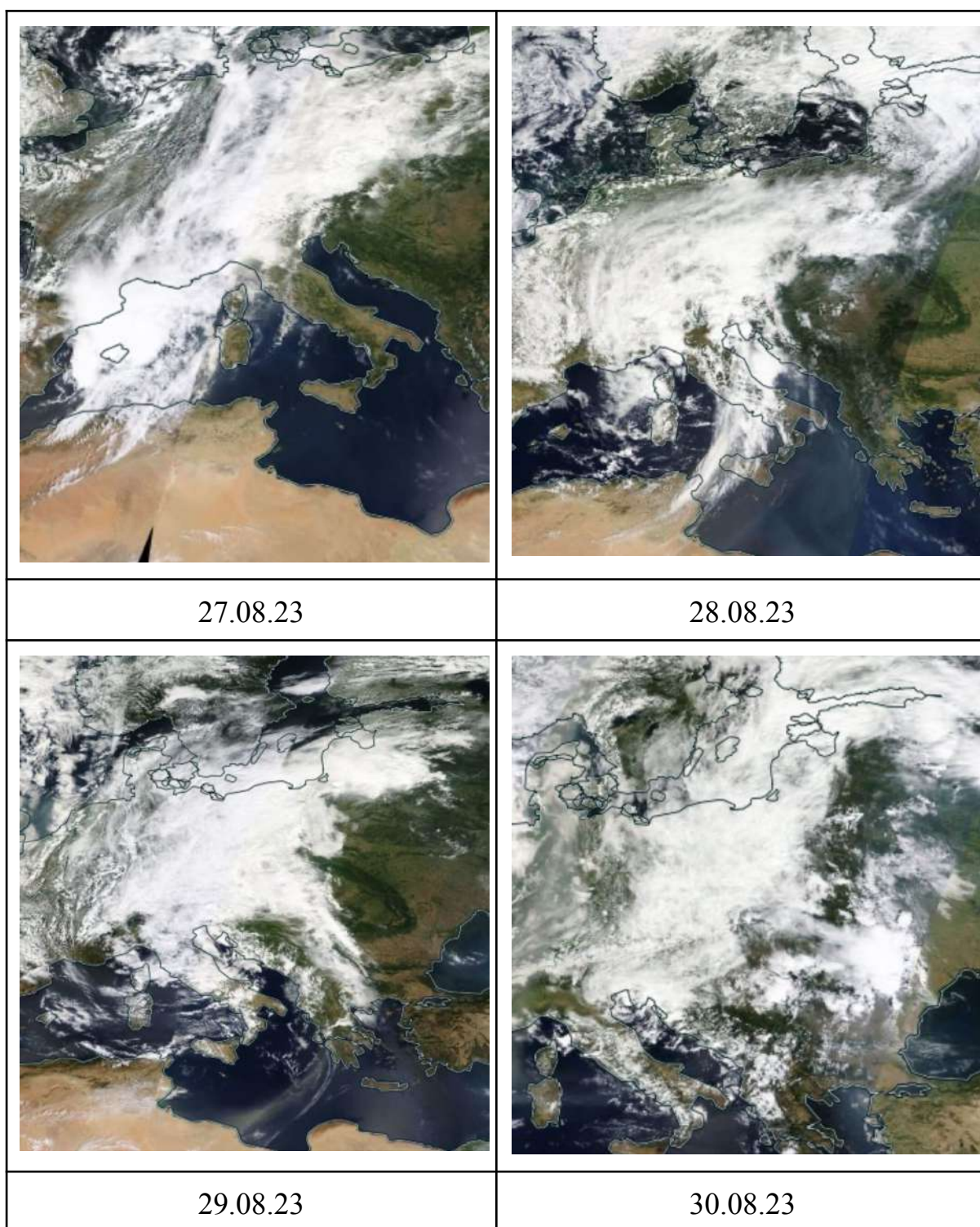


Рисунок 3.3.10 – MODIS четырехдневная последовательность спутниковых снимков в летний период образования Генуэзского циклона.

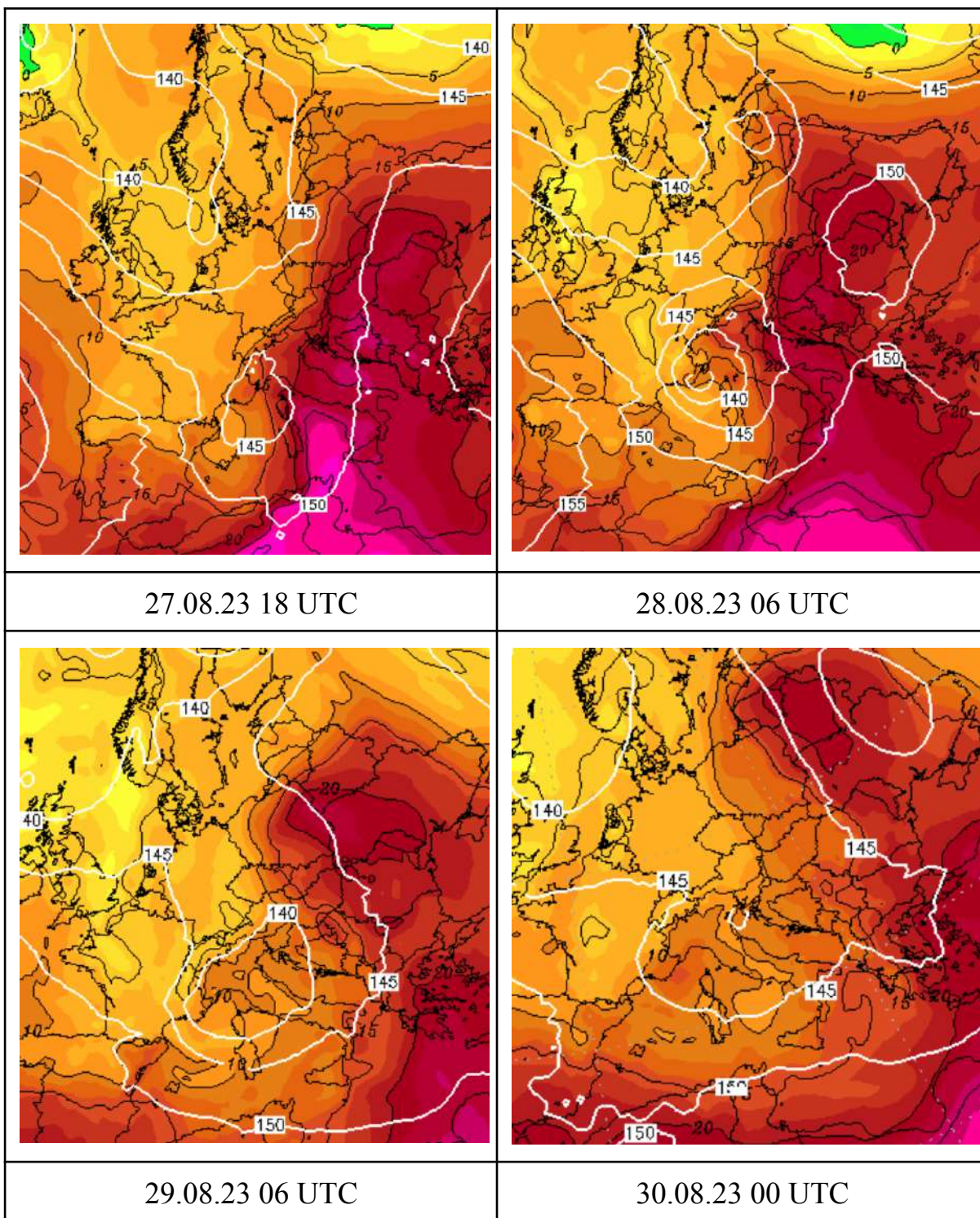


Рисунок 3.3.11 – GFS reanalysis 850 гПа теормобарическая карта за летний период образования Генуэзского циклона.

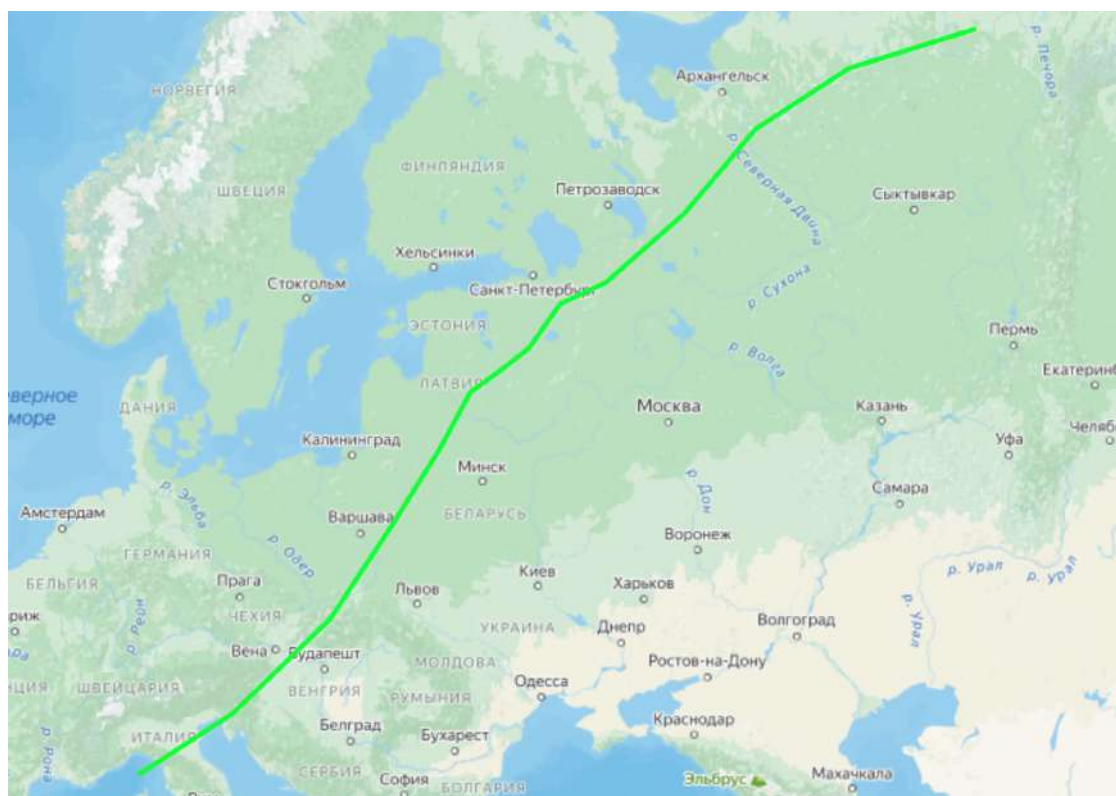


Рисунок 3.3.12– Типичная траектория перемещения Генуэзского циклона в летний сезон.

Анализ траекторий циклонов показал, что основное направление перемещения орографических вихрей происходит летом (рис. 3.3.10) с запада на восток и с юго-запада на северо-восток через север Италии, это обусловлено западным переносом воздушных масс атмосферы и большей прогретостью суши в сравнении с морем.

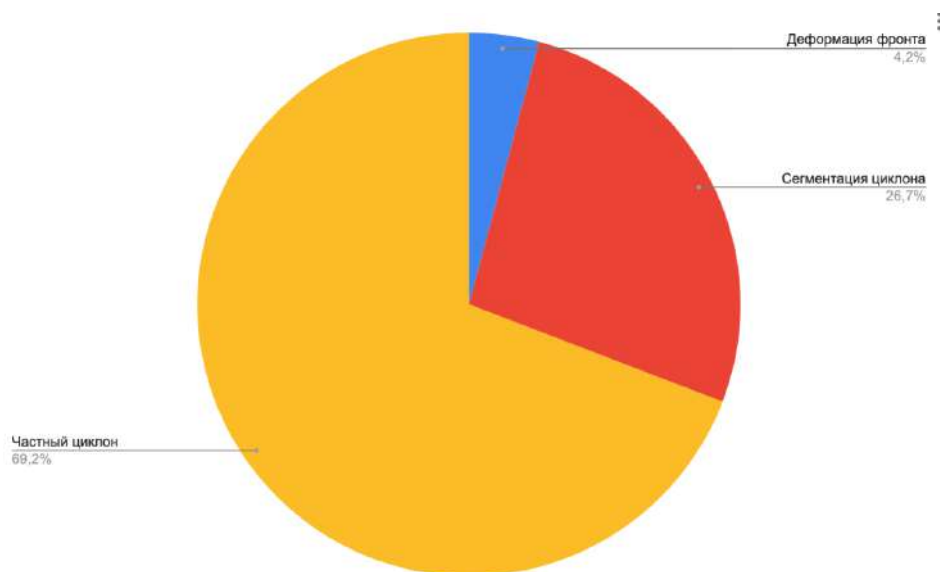


Рисунок 3.3.13 Механизм формирования Генуэзских циклонов.

У Генуэзского циклона наиболее частым механизмом его образования является формирование частного циклона (69,2%), вторым по значимости является сегментация циклона – (26,7%) и меньше всего случаев связаны с деформацией фронта (4,2%).

Внутригодовая изменчивость повторяемости циклонов за 2019-2024 гг.

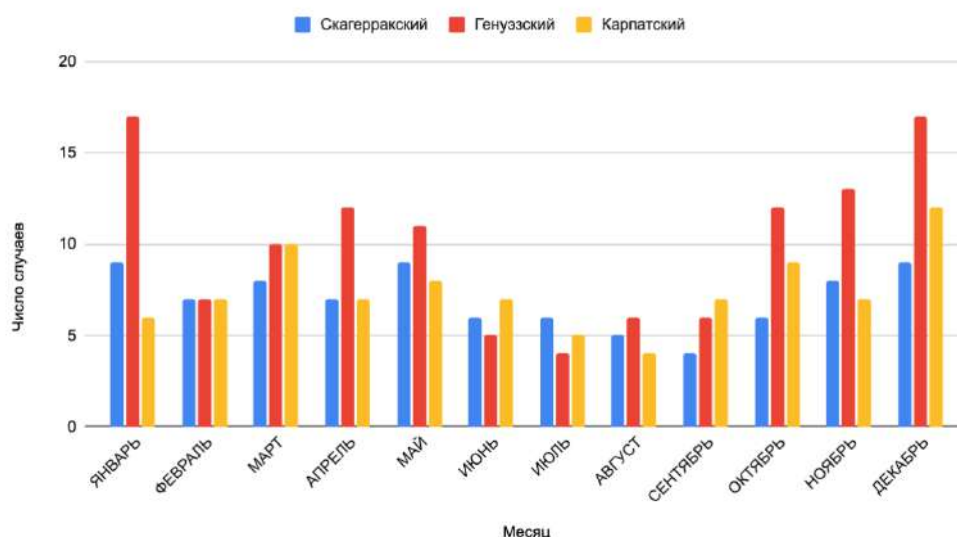


Рисунок 3.3.14 – Внутригодовая изменчивость повторяемости циклонов за 2019-2024 гг.

Анализ внутригодовой изменчивости повторяемости орографических циклонов показал, что чаще всего Генуэзские циклоны формируются в

холодное время года с ноября по январь, Карпатские– в холодную часть года: с октября по декабрь, и весной: март и май. Скагерракские– в холодные месяцы: декабрь, январь, и весной: май.

Межгодовая изменчивость повторяемости циклонов за 2019-2024 гг.

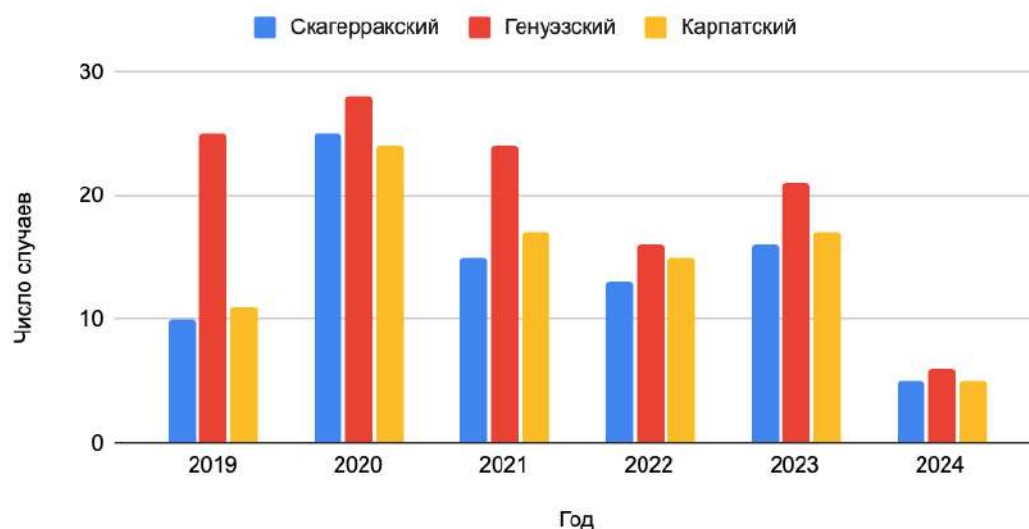


Рисунок 3.3.15 – Межгодовая изменчивость повторяемости циклонов за 2019-2024 гг.

Анализируя межгодовую изменчивость повторяемости орографического циклогенеза, можно сделать вывод, что в 2020 году наблюдалось самое большое количество случаев (77) образования циклонов, а именно: Гёнуэзских–28, Карпатских – 24, Скагерракских – 25. Наименьшее количество наблюдалось в 2022 году – 44 случая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы, был создан архив из 293 спутниковых изображений трех видов орографических циклонов на территориях Европы: Скагерракский (84), Генуэзский (120) и Карпатский(89). Проанализированы синоптические ситуации, благоприятствующие развитию циклонов. Установлено, что для всех трех типов орографических циклонов характерны три механизма образования циклонов: частный циклон, возникающий в барической ложбине материнского циклона, деформация фронта горной системой и сегментация циклона орографическим препятствием. Причем в случае Скагерраковского циклона наиболее частым механизмом его образования является формирование частного циклона (41,7%), вторым по значимости–деформация холодного фронта (39,3%) и меньше всего случаев связаны с сегментацией циклона (19%). У Генуэзских циклонов 62,9% случаев связаны с образованием частного циклона; 26,7% – с сегментацией; 4,2% – с деформацией фронта. В Карпатском циклогенезе чаще всего аблюдается возникновение частного циклона (53,9%), сегментация циклона (40,4%), деформация фронта (5,6%). В целом наиболее частой причиной формирования орографических циклонов выступает образование частных циклонов (56,7% случаев), на сегментацию циклонов приходится 28,7%, меньше всего образуются за счет деформации фронта горным препятствием (14,7%).

Построены и проанализированы траектории перемещения циклонов. Анализ показал, что существуют типичные траектории, зависящие от сезона. Генуэзские циклоны в зимний период перемещаются над поверхностью Средиземного моря в юго-восточном направлении к берегам северной Африки; летом двигаются над поверхностью суши в северо-восточном направлении, достигая территории северо-запада

России; весной перемещаются над поверхностью моря в северо-западном направлении в акваторию Эгейского моря, достигая Карпатских гор; осенью – либо стационарируют в Гёнузском проливе, либо переваливают на территорию Польши. Карпатские циклоны в целом имеют более короткие траектории, причем в осенний и летний периоды они движутся в северо-восточном направлении пересекая Черное море, с выходом в южные регионы России и в Беларусь; в зимний и весенний либо стационарируют, либо перемещаются над акваторией Черного моря, затухая там. Скагерракские циклоны летом перемещаются по территории суши в северо-западном направлении через Швецию, Финляндию, уходя к Новой земле; зимой – огибают Скандинавский полуостров, двигаясь вдоль его западного побережья; осенью и весной – над поверхностью Балтийского моря в восточном/северо-восточном направлении через территорию Латвии к Санкт-Петербургу.

Анализ внутригодовой изменчивости повторяемости орографических циклонов показал, что чаще всего Гёнузские циклоны формируются в холодное время года с ноября по январь, Карпатские– в холодную часть года: с октября по декабрь, и весной: в марте и мае. Скагерракские – в холодные месяцы: декабрь, январь, и весной: май.

Анализируя межгодовую изменчивость повторяемости орографического циклогенеза, можно сделать вывод, что в 2020 году наблюдалось самое большое количество случаев (77) образования циклонов, а именно: Гёнузских–28, Карпатских – 24, Скагерракских – 25. Наименьшее количество наблюдалось в 2022 году – 44 случая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [1] Щеглова Н. Е. АНАЛИЗ ОРОГРАФИЧЕСКОГО ЦИКЛОГЕНЕЗА НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ЕЖЕДНЕВНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ // "Фундаментальные и прикладные космические исследования" сборник тезисов и докладов. - М.: ИКИ РАН, 2024
2. [2] Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. -Л.: Гидрометеиздат, 1991
3. [3] Гущина Д. Ю. Синоптическая метеорология. Часть 2 // Электронный ресурс:
<https://teach-in.ru/file/synopsis/pdf/synoptic-meteorology-part2-M.pdf?ysclid=lx9ikxcvxd634457769>
4. [4] Зверев А.С. Синоптическая метеорология. - Л.:Гидрометеиздат, 1977-71с.
5. [5] Гущина Д. Ю. Синоптическая метеорология. Часть 1 // Электронный ресурс:
<https://teach-in.ru/file/synopsis/pdf/synoptic-meteorology-M.pdf?ysclid=lx9jx0flw3510654765>
6. Баянкина Т. М., Данова Т. Е. Циклогенез Средиземноморско-Черноморского региона по спутниковым данным. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 3. С. 231-239
7. Акперов М. Г., Мохов И. И., Дембицкая М. А. Арктические мезоциклоны по спутниковым данным, данным реанализа и модельным расчётам (Arctic mesocyclones from satellite data, reanalyses data and model simulations). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017, том 14, № 3, с. 297–304

8. Гуральник И.И., Дубинский Г.П., Ларин В.В., Малининова С.В. Метеорология. – Л: Гидрометиздат, 1982. – 418 с.
9. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л: Гидрометиздат, 1977. – 712 с.
10. Куниц А.В., Матвеев М.В. Синоптическая метеорология/ под ред. А.М. Баранова. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 320 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Год и месяц образования/ Циклон, число		Скагерракский	Генуэзский	Карпатский
2024	Январь	14, 26, 30	5	9
	Февраль	23	10, 27	12
	Март	16	3, 5, 23	6, 12, 25
2023	Январь	18	9, 10	20
	Февраль		26	
	Март	6	15	15, 27
	Апрель	7, 24	2, 7, 8, 10, 15	1, 25
	Май	23	1, 10, 13	7
	Июнь		27	14, 24
	Июль	2, 5		
	Август	30	3, 27	28
	Сентябрь		23	
	Октябрь	24, 30	16, 20	22, 27
	Ноябрь	12, 15, 20, 29	21	12, 25
	Декабрь	2	1, 8, 15	3, 6, 7, 14
2022	Январь	2, 9	5, 9, 12, 31	
	Февраль	21	15, 26	
	Март	2, 30	5, 12	6, 16
	Апрель	4	23	7
	Май	20, 24	25	2, 29
	Июнь		28	10
	Июль	21		11, 30
	Август	6	18	
	Сентябрь		17, 29	10, 17, 21
	Октябрь	2, 24		
	Ноябрь	4	5, 19, 26	17, 21, 26
	Декабрь	8		10

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

2021	Январь	13	6, 10, 15, 23, 24, 30	9, 30
	Февраль	2	13	11, 20
	Март	13, 16	19	15, 18
	Апрель	22, 26	6, 7, 12	5, 13, 19
	Май	12, 17	1, 7, 18	13
	Июнь			
	Июль			
	Август	16		
	Сентябрь	15, 30		10, 17
	Октябрь		7, 22	11, 21
	Ноябрь	7, 13	1, 23, 29	21
	Декабрь	1, 11	3, 5, 10, 28	6, 29
2020	Январь	9	18	27
	Февраль	4, 25		4, 24, 29
	Март	3	2	
	Апрель	16, 27		2
	Май	2, 13, 24	12	2, 25
	Июнь	2, 3, 20	7, 10, 29	7, 11, 17, 21
	Июль	4, 8, 10, 24	14	3, 14
	Август	13, 30	3, 4, 31	3, 15
	Сентябрь	16, 29	6, 25, 27	29
	Октябрь	10	7, 11, 14, 16, 24, 27	8, 29, 31
	Ноябрь	3	16, 20	
	Декабрь	1, 12, 13	1, 5, 8, 10, 12, 25, 30	1, 8, 10, 12, 25
2019	Январь	8	9, 23, 30	
	Февраль	10	2	7
	Март	4, 25	18, 26	11
	Апрель		4, 7, 10, 28	
	Май	6	5, 12, 18	15, 22
	Июнь	10		
	Июль	12	15, 28	14
	Август			3
	Сентябрь		5	9
	Октябрь	26	16, 31	5, 29
	Ноябрь		9, 10, 18, 24	25
	Декабрь	15, 23	12, 13, 21	