Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему:“Параметры и траектории циклонов, приводящих к наводнениям в Финском заливе”

Исполнитель:Кондратов Егор Витальевич

Руководитель: доктор географических наук, профессор
Аверкиев Александр Сергеевич

“К защите допускаю”

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

кандидат географических наук
Хаймина Ольга Владимировна

«10» июня 2026г.

Санкт-Петербург

2026

Введение.....1

Глава 1. Причины и механизмы, приводящие к значительным подъёмамуровня в различных частях Балтийского моря и наводнениям в Финском
заливе.....4

1.1 Физико-географическое описание Балтийского моря, отражающее причины и механизмы опасных поднятий уровня и наводнения в Финском заливе.....4

1.2 Синоптические и климатические условия возникновения наводнений в восточной части Финского залива.....7

Глава 2. Параметры и траектории циклонов, приводивших к подъёмам уровня в Финском заливе в период с 2020 по 2025гг.....9

Глава 3. Анализ циклонической деятельности над районом Балтийского моря и повторяемости наводнений в Финском заливе в период с 1901 по 2025гг.....26

Заключение.....31

Список использованных источников.....33

Приложение А.....34

Приложение Б.....39

Введение:

В современный период перед специалистами в области океанологии и метеорологии встаёт научно-практическая задача, относящиеся к опасным колебаниям уровня воды в прибрежной зоне Финского залива. Научный интерес обоснован тем, что на протяжении первой четверти 21 века глобальные изменения климата начали оказывать прямое влияние на локальные природные процессы. В частности, интенсификация циклонической деятельности над акваторией Северной Атлантики в сочетании с глобальной тенденцией к повышению уровня Мирового океана привела к резкому увеличению частоты и разрушительной силы наводнений. Подобные опасные гидрометеорологические явления фиксируются как непосредственно в границах Невской губы (НГ), так и на всей протяжённости побережья Финского залива. Создавая прямую угрозу для инфраструктуры и жизнеобеспечения г.Санкт-Петербург.

Для адекватной оценки масштаба этих водных колебаний и построения точных прогнозных моделей ученые используют строгую систему пространственных координат. Любые краткосрочные или долгосрочные изменения водной поверхности в обязательном порядке соотносятся с фундаментальной геодезической базой, которая исторически была определена на основе средних многолетних наблюдений за зеркалом Балтийского моря в районе острова Котлин. Этот фиксированный уровень выступает в качестве главного государственного ориентира, относительно которого на всей территории страны рассчитывают как высоту объектов на суше, так и глубины в прилегающих морских акваториях. В прежние десятилетия в отечественной науке и картографии данный базис традиционно именовался “нулем Кронштадтского футштока”. В настоящее время используется термин “Нуль Балтийской системы”

В работе были использованы данные об опасных подъёмах уровня, представленные Дирекцией комплекса защитных сооружений города Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС) [1]. Для выбора синоптических карт был

использован международный метеорологический сервис, созданный чешской компанией “InMeteo” - Ventusky [2].

Целью исследования в работе является анализ траекторий и параметров циклонов, которые были причиной подъёмов уровня с 2020 по 2025 гг, а также исследование изменений, которые произошли со значительными подъёмами уровня в Невской губе за последние 125 лет (с 1901 по 2025 гг).

Для реализации поставленной цели потребовалось сформулировать и выполнить ряд следующих исследовательских задач:

1. Составление синоптических карт приземного атмосферного давления, для интервалов времени, на которые прошлись максимальные подъёмы уровня воды с 2020 по 2025 гг.

2. Определение основных характеристик и траекторий циклонов, вызвавших опасные подъёмы уровня в Невской губе в 2020-2025 гг. А также приведение траекторий в соответствие с типизацией, представленной в работе [3].

3. Анализ изменений за период с 1901 по 2025 гг., произошедших с параметрами и частотой циклонов, приводивших к наводнениям до 2011г и опасным подъёмам уровня с 2011 по 2025 гг. в восточной части Финского залива (ВЧФЗ).

Исходные данные: для получения дат опасных подъёмов уровня в НГ, были использованы архивы дирекции КЗС, работа по изменчивости морского уровня финского залива С.М Гордеева В.Н Малинин, а также информация с полного хронологического списка наводнений в Санкт-Петербурге [1, 4, 5].

Будем придерживаться следующей терминологии и сокращений, которые были предоставлены в статьях и на сайте Дирекции КЗС:

ВЧФЗ - восточная часть Финского залива; НГ - Невская губа, часть ВЧФЗ, отделенная КЗС; КЗС - Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений; UTC- Всемирное координированное время.

Глава 1. Причины и механизмы, приводящие к значительному подъему уровня Балтийском море и наводнениям в Финском заливе.

1.1 Физико-географическое описание Балтийского моря, отражающее причины и механизмы опасных поднятий уровня и наводнения в Финском заливе.

Географические характеристики Балтийского моря играют ключевую роль в том, почему на его восточных окраинах регулярно происходят опасные наводнения. Если посмотреть на карту, рисунок 1.1, Балтика - это классическое внутренне море шельфового типа. Оно сильно вытянуто с запада на восток и со всех сторон окружено сушей. Самое главное условие для понимания природы наводнений заключается в том, как именно этот огромный водный бассейн связан с Мировым океаном. Связь с Атлантикой осуществляется через цепочку узких и мелких проливов Скагеррак, Каттегат, Зунд и Большой Бельт. Глубина на порогах проливов составляет всего от 7 до 18 метров. Из-за такой мелководности свободный и быстрый водообмен между Балтийским и Северным морями физически невозможен. Изоляция создаёт идеальные условия для того, чтобы внутри самого Балтийского моря развивались свои собственные волновые процессы, которые практически не зависят от океанских приливов и отливов (которые на Балтике значительно малы и не превышают 10 см). Второй важнейший фактор - это уникальная геометрия Финского залива, который является восточным ответвлением Балтики. Залив представляет собой гигантскую воронку, где на входе, шириной около 130 км, глубины составляют вполне солидные 60-80 м. Однако по мере продвижения на восток, в сторону г.Санкт-Петербург, берега стремительно сужаются, а дно поднимается. В районе Невской губы, средняя глубина падает до критических 3-7 м. Клинообразная форма залива работает как природный гидродинамический концентратор энергии: любой водной массы, идущей с запада, становится физически “тесно”.

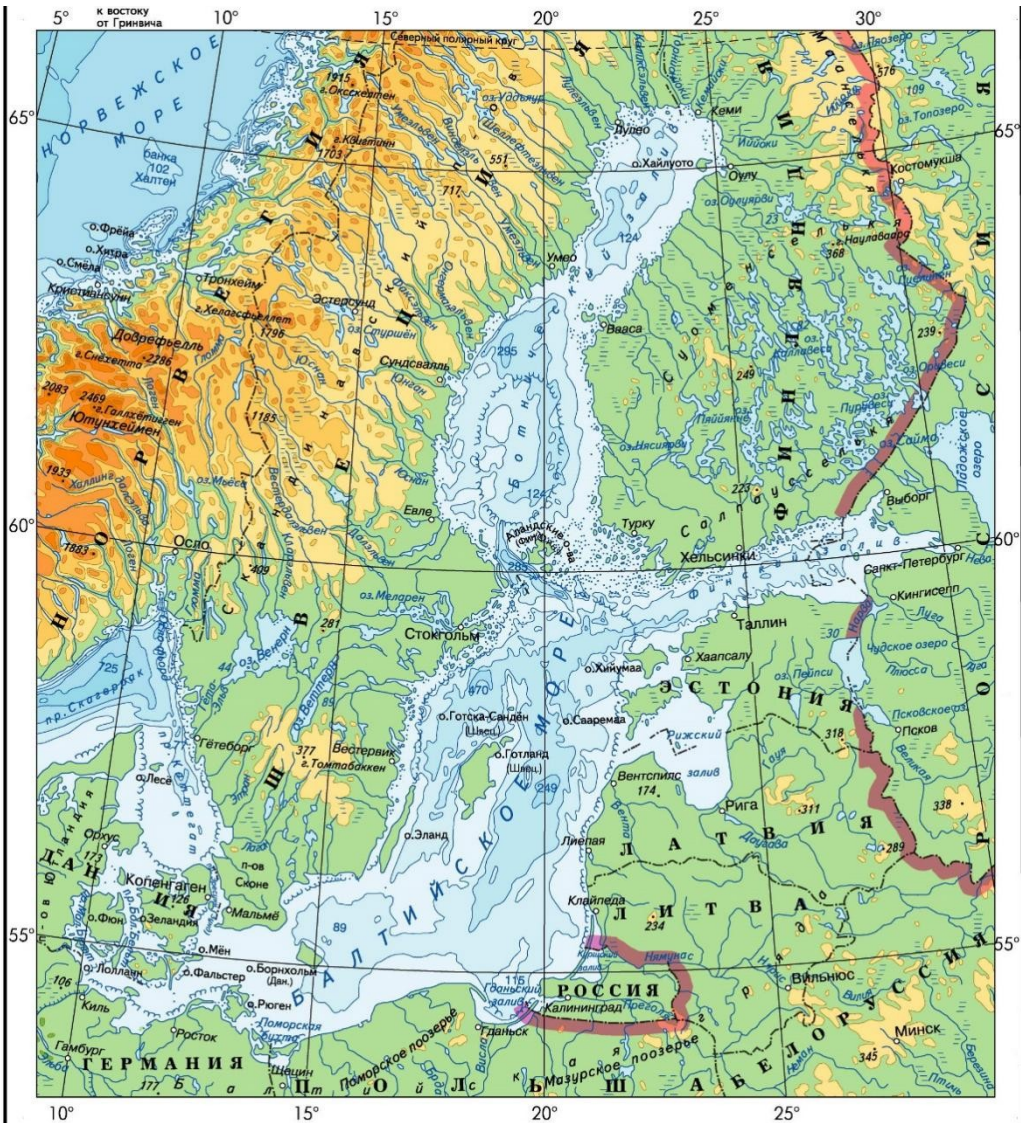


Рисунок 1.1 Карта Балтийского моря

Сам по себе залив не вызывал бы катастрофы без мощного внешнего двигателя. Таким двигателем выступает атмосфера. Изменения уровня воды в Балтийском море, происходящие в интервале от несколько часов до нескольких суток, в основном обусловлены вариациями атмосферного давления и ветровыми условиями. Эти колебания проявляются через сгонно - нагонные процессы и сейши. Сгонно - нагонные явления возникают под действием ветра и могут длиться от нескольких часов до нескольких недель. Одним из примеров таких процессов являются штормовые нагоны, которые иногда вызывают наводнения в ВЧФЗ. Активная циклоническая активность наблюдается в регионе примерно 200 дней в году. Это значит, что территорию регулярно пересекают глубокие и быстрые атлантические

циклоны. Когда масштабный циклон идёт над Балтикой с запада на восток, траектория его центра часто пролегает чуть севернее Финского залива. В такой ситуации на южной периферии циклона формируются ураганные ветра строго западных направлений. Ветер, который идёт вдоль продольной оси Балтийского моря, буквально начинает гнать верхний слой воды перед собой. Из-за того, что скорость движения самого циклона часто совпадает со скоростью распространения волны в море, возникает эффект резонанса: ветер постоянно “подталкивает” уже бегущую волну, передавая всё большей энергии. В результате формируются длинные волны, которую устремляются на восток.

Когда рождённая в открытом море длинная волна входит в Финский залив, она трансформируется из-за сужения берегов и уменьшения глубин. Сильные штормовые нагоны способны за несколько часов поднять воду у г.Санкт-Петербург на 1.5-3 м, нанося городу значительный ущерб. Наводнением в ВЧФЗ считается подъём уровня воды выше 160 см относительно Нуля Балтийской системы. Согласно градации, подъём до 210 см является опасным, до 299 см - крайне опасным, а свыше 300 см - катастрофическим.

Ситуацию усложняют сейши - свободные стоячие волны Балтики с амплитудой до 1-4 м. Самые опасный эффект возникает при совпадении фаз ветрового нагона и сейшевой волны. Дополнительно на разгон волы влияет плотностная стратификация (галоклин на 50-60 м), из-за которой ветровое трение увлекает только верхний, лёгкий и распреснённый слой воды толщиной до 30 м. В зимний период ледовой покров частично гасит мелкие волны, но длинная нагонная волна проходит под ним, а ломающийся лёд в устье невы может создавать заторы, усугубляя подъём уровня.

Для прогнозирования этих процессов используется математическое моделирование. На примере урагана “Эрвин”, в 2005 году, где подъём уровня воды составил 239 см, было доказано, что максимальные значения наводнений происходят при движении центра циклона на северо-восток,

когда скорость его смещения входит в резонанс со скоростью длинной волны на мелководье, увеличивая высоту нагона на 40-50% без учёта ветра. [7].

Поворотной точкой в истории региона стал 2011 год, когда был введён в эксплуатацию Комплекс защитных сооружений (КЗС). Дамба полностью перекрыла доступ нагонной волне в Невскую губу, обеспечив защиту г.Санкт-Петербург. Однако на остальной территории ВЧФЗ опасные нагоны всё ещё происходят. Из-за этого изменилась научная терминология:все экстремальные события до 2010 года включительно называют “наводнениями”, а начиная с 2011 года - “предотвращёнными наводнениями” или “опасными подъёмами уровня выше критических значений”. Таким образом, современные наводнения в ВЧФЗ - это результат наложения уникальной географии шельфового моря и активности циклонов, который сегодня регулируется антропогенным воздействием защитных систем.

1.2 Синоптические и климатические условия возникновения наводнений в восточной части Финского залива.

Подводя итоги вышенаписанного, можно выделить несколько ключевых факторов, способствующих возникновению наводнений в ВЧФЗ:

1. Появление, развитие и перемещение циклона над регионами Балтийского моря.

2. Генерация и распространение длинной волны, возникшей при воздействии циклона на поверхности моря и движущейся независимо от циклона на восток в Балтике и Финском заливе.

3. Изменения характеристик длинной волны за счёт сокращения её длины и увеличения высоты при прохождении через все более узкие и мелкие участки Финского залива.

4. Влияние ветра на водную поверхность, создаваемое западными и юго-западными потоками воздуха в циклоне.

5. Формирование стоячей волны или колебаний сейшевого типа, вызванных раскачиванием водной массы бассейна .

Таким образом, можно заключить, что первопричиной, вызывающей

рассматриваемые опасныеподъёмы уровня и наводнения, является движение атмосферных циклонов, по определенным траекториям. Поэтому важно сначала проанализировать частоту этих явлений и траектории циклонов в северо-западном и западном регионах.

На рисунке 1.2 представлены характерные сектора траекторий перемещения циклонов и их условные обозначения, приведённые в статье Псаломщиковой и др. [3].

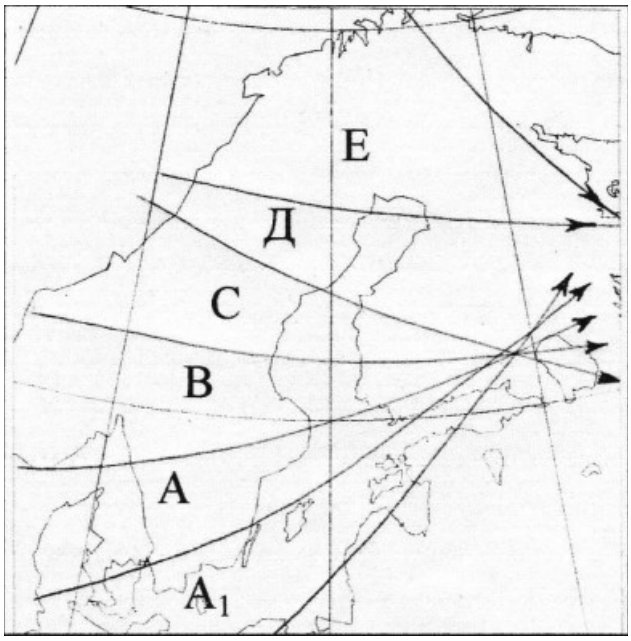


Рисунок 1.2 Траектории «наводненческих» циклонов согласно работе [3].

Глава 2. Параметры и траектории циклонов, приводивших к подъемам уровня в Финском заливе в период с 2020 по 2025 гг.

Используется метод анализа приземных карт с дискретностью в 12 часов, за 1-2 суток до максимального подъёма уровня воды, для того, чтобы отследить траекторию циклона в начальной точке в Атлантическом океане до времени прохождения меридиана г.Санкт-петербург. По синоптическим картам прослежена траектория циклона, изменение давления в центре с фиксацией минимального давления, времени его наступления и координат места, где минимум наблюдался.

Траектории циклонов были проведены к типам, по классификации, предоставленной в работе Псаломщиковой [3] и на рис 1.2.

В результате были составлены таблицы, с указанием физических параметров циклонов, приводящих к опасным подъемам уровня воды, а также типы их траектории.

Для комплексного анализа синоптических карт, с 2020 по 2025 гг., был использован международный метеорологический сервис - “Ventusky”, где происходит визуализация данных о погоде, в виде динамический карт. Анализ проводился за периоды в 48 часов, в течение которых отслеживалась траектория циклонов над исследуемой областью, которые приводили к наводнениям в ВЧФЗ. В настоящее время наводнений в С-Петербурге не фиксируется, что обусловлено построенным в 2011 году Коплексу защитных сооружений (КЗС), предотвратившему значительную угрозу. Время поднятия уровня выше 160 см на водомерном посту Горного института прогнозируется северо-западным управлением. КЗС следуя прогнозу, совершает закрытие всех затворов, при этом, уровень открытой части измеряется и может классифицироваться как наводнение, но не в С-Петербурге, а в открытой части Финского залива. Данные, по которым были выявлены все случаи повышения уровня воды, выше указанной отметки 160 см с 2020 по 2025 гг., находятся в открытом доступе на сайте Дирекции КЗС [1].

Нас интересуют траектории циклонов, которые приводили к таким

подъемам уровня и закрытию КЗС. Эти периоды соответствуют по старой классификации, наводнениям в Санкт-Петербурге. В результате были построены траектории движения циклонов, изображённые на последней карте за каждый случай. К сожалению, в некоторых случаях точное время максимального поднятия уровня в архиве Дирекции КЗС не представлено, но тогда это время устанавливалось опытным путём, когда циклон проходил через меридиан Санкт-Петербурга.

Далее на рисунках 2.1-2.19 приведены карты с траекториями циклонов с указанием местоположения центра циклона и зафиксированным временем.

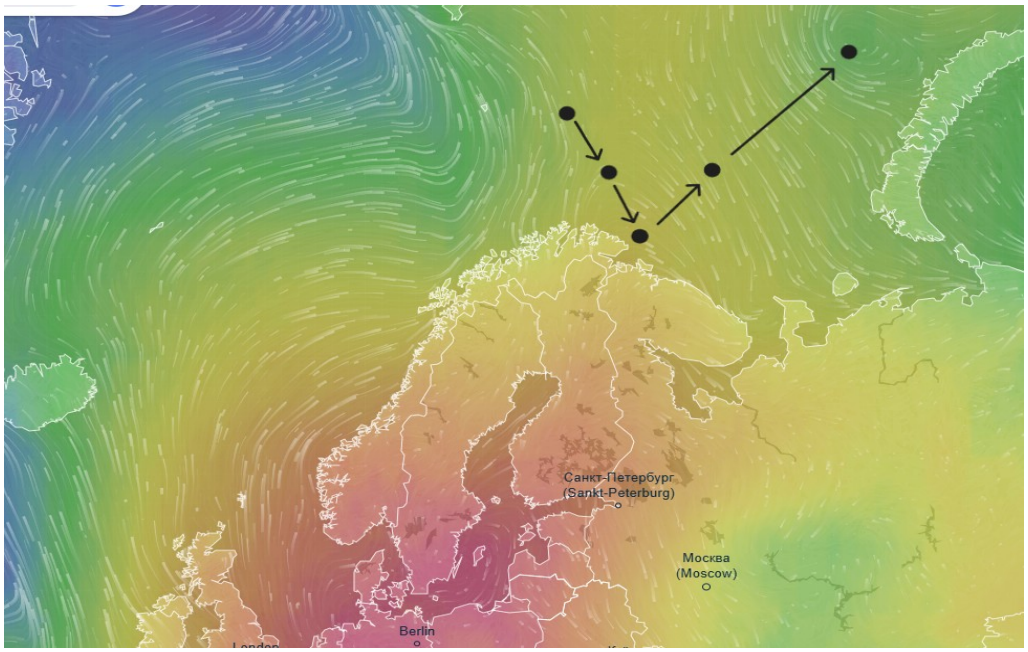


Рисунок 2.1. Синоптическая карта за 6 февраля 2020 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 165 см в 8:22 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 5.02.20 (9:00), 5.02.20 (21:00), 6.02.20 (9:00), 6.02.20 (15:00) и 6.02.20 (21:00).

На карте рис 2.1 мывидим, что движение циклона происходит с северо-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составило 720 мм.рт.ст.

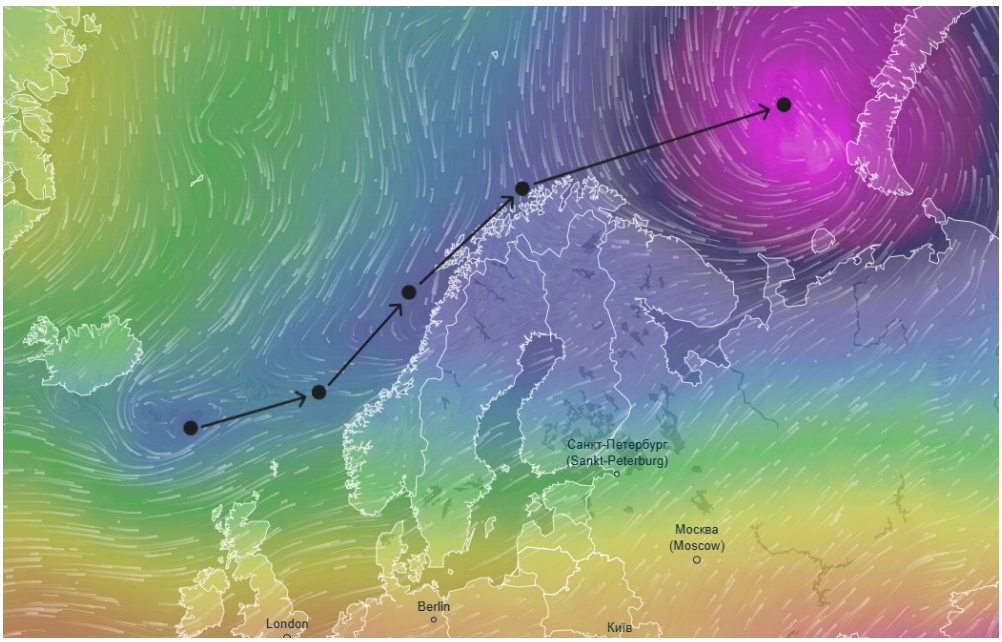


Рисунок 2.2. Синоптическая карта за 18 февраля 2020 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 173 см в 00:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 17.02.20 (00:00), 17.02.20 (12:00), 18.02.20 (00:00), 18.02.20 (6:00) и 18.02.20 (12:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с юго-запада, тип траектории Е. Минимальное значение давления в центре циклона составило 722 мм.рт.ст.

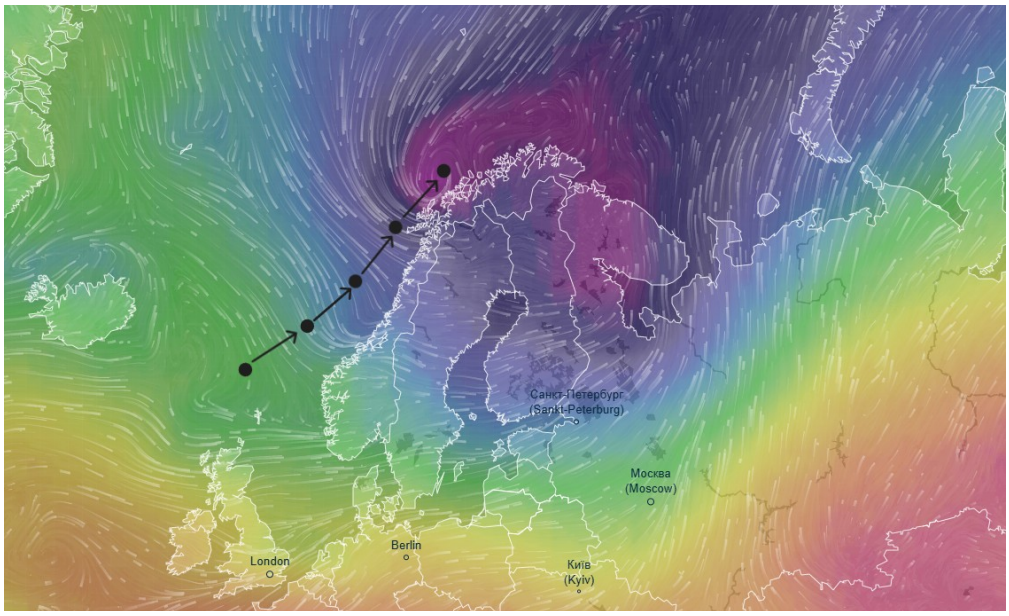


Рисунок 2.3. Синоптическая карта за 23 февраля 2020 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 196 см в

01:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 22.02.20 (00), 22.02.20 (12:00), 23.02.20 (00:00), 23.02.20 (6:00) и 23.02.20 (12:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с запада, тип траектории Е. Минимальное значение давления в центре циклона составило 718 мм.рт.ст.

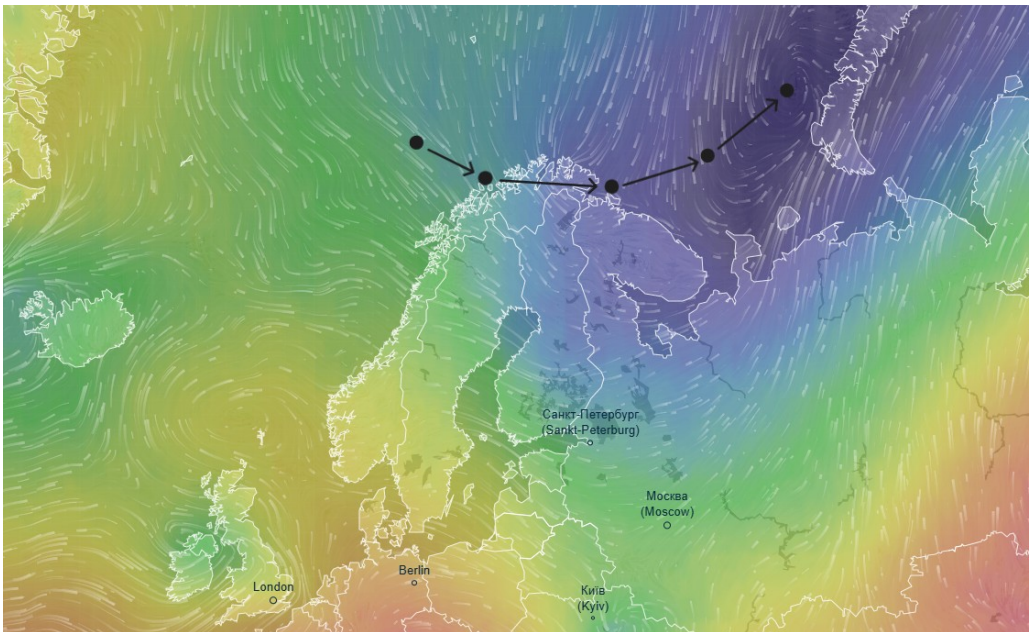


Рисунок 2.4. Синоптическая карта за 24 февраля 2020 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 172 см в 03:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 23.02.20 (00:00), 23.02.20 (12:00), 24.02.20 (00:00), 24.02.20 (6:00) и 24.02.20 (12:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с запада, тип траектории Е. Минимальное значения давления в центре циклона составило 740 мм.рт.ст.

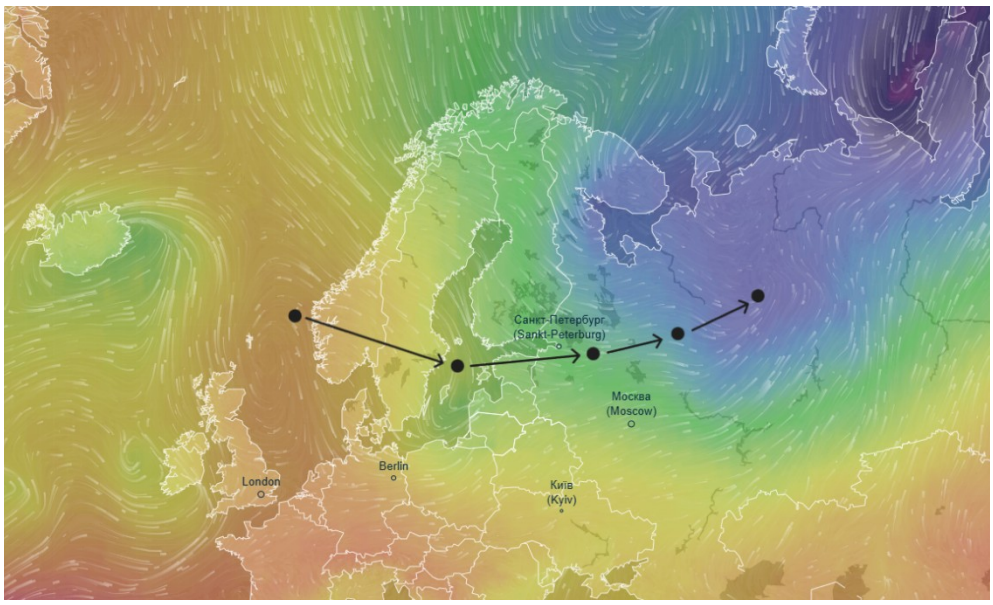


Рисунок 2.5. Синоптическая карта за 13 марта 2020 год.Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 163 см в 10:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 12.03.20 (9:00), 12.03.20 (21:00), 13.03.20 (9:00), 13.03.20 (15:00) и 13.03.20 (21:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с северо-запада, тип траектории С. Минимальное значение давления в центре циклона составило 733 мм.рт.ст.

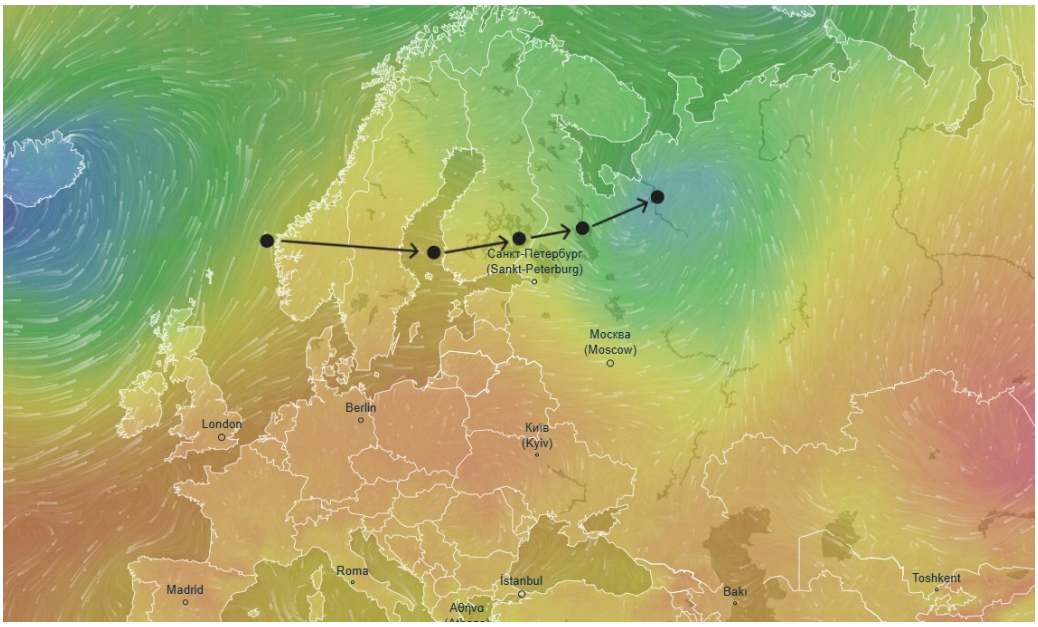


Рисунок 2.6. Синоптическая карта за 10 сентября 2020 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 170 см в 17:40 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона

за срок 9.09.20 (18:00), 10.09.20 (6:00), 10.09.20 (18:00), 11.09.20 (00:00) и 11.09.20 (6:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с запада, тип траектории С. Минимальное значение давления в центре циклона составило 735 мм.рт.ст.

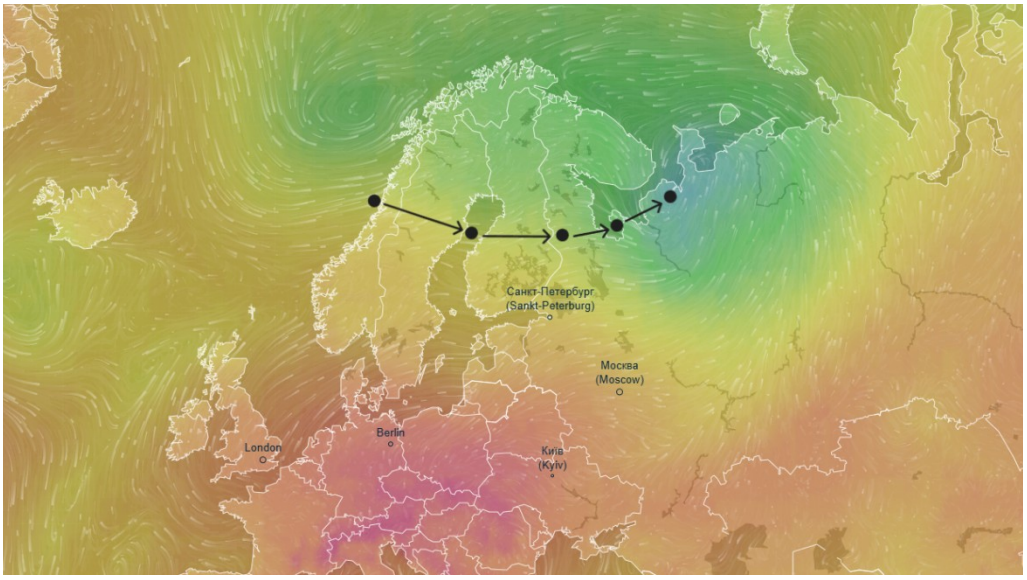


Рисунок 2.7. Синоптическая карта за 13 сентября 2020.Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 173 см в 15:45 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 12.09.20 (15:00), 13.09.20 (3:00), 13.09.20 (15:00), 13.09.20 (21:00) и 14.09.20 (3:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с юго-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составило 734 мм.рт.ст.

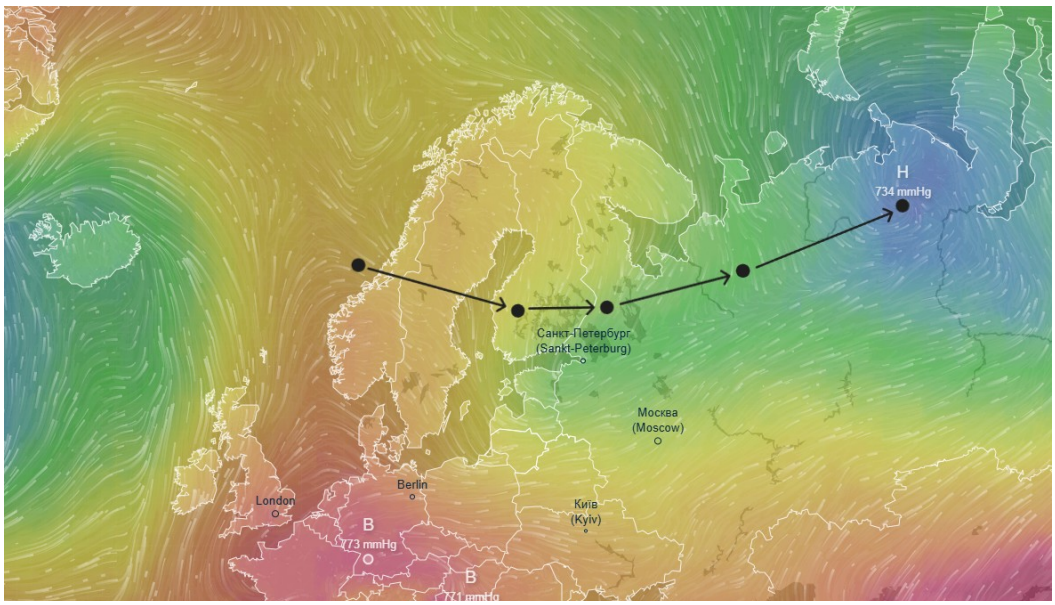


Рисунок 2.8. Синоптическая карта за 22 октября 2021 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 218 см в 23:40 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 22.10.21 (00:00), 22.10.21 (12:00), 23.10.21 (00:00), 23.10.21 (6:00) и 23.10.21 (12:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с юго-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составило 726 мм.рт.ст

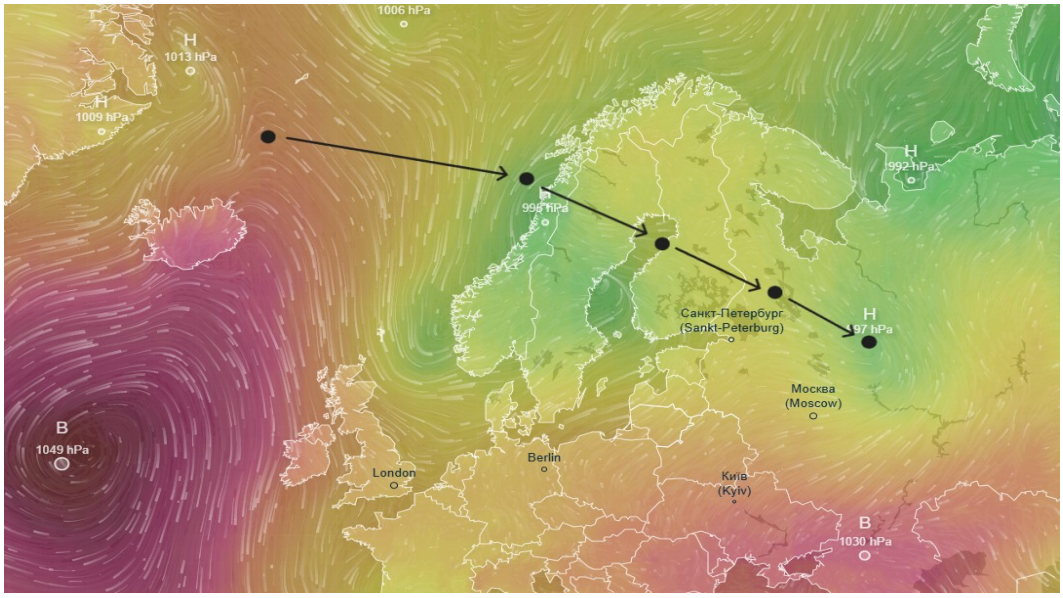


Рисунок 2.9. Синоптическая карта за 24 ноября 2021 год.Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 170 см в 03:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона

за срок 23.11.21(3:00), 23.11.21 (15:00), 24.11.21 (3:00), 24.11.21 (9:00) и 24.11.21 (15:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с северо-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составило 741 мм.рт.ст.

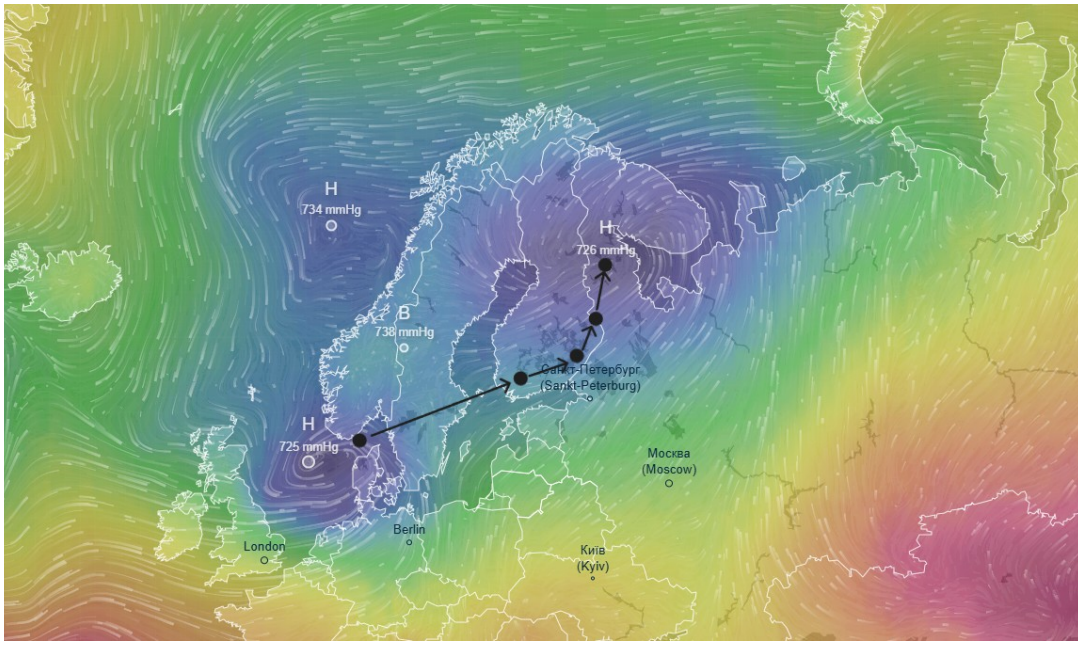


Рисунок 2.10. Синоптическая карта за 18 февраля 2022 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 167 см в 21:20 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 17.02.22 (21:00), 18.02.22 (9:00), 18.02.22 (21:00), 19.02.22 (3:00) и 19.02.22 (9:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходитс юго-запада, тип траектории B. Минимальное значение давления в центре циклона составило 720 мм.рт.ст.

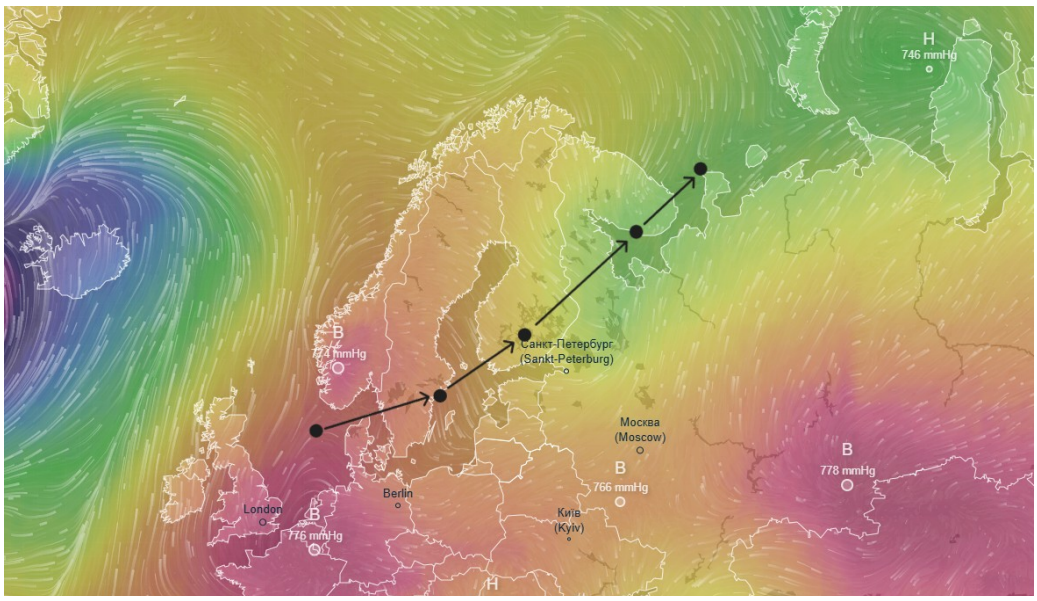


Рисунок 2.11. Синоптическая карта за 25 февраля 2022 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 174 см в 18:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 24.02.22 (18:00), 25.02.22 (6:00), 25.02.22 (18:00), 26.02.22 (00:00) и 26.02.22 (6:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с запада, тип траектории В. Минимальное значение давления центре циклона составило 735 мм.рт.ст.

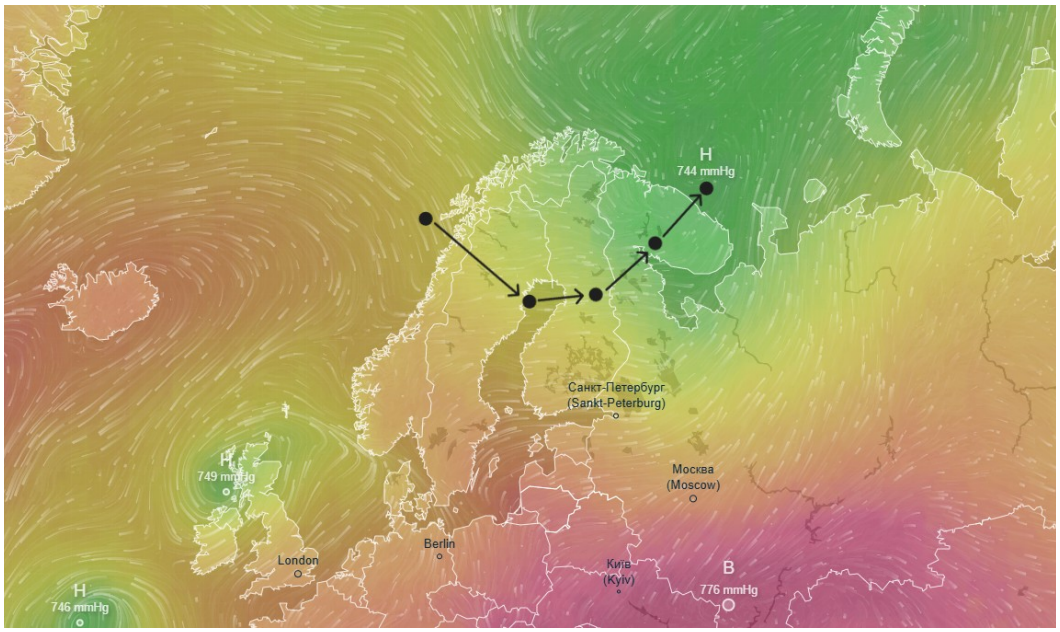


Рисунок 2.12. Синоптическая карта за 17 октября 2022 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 170 см в 03:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона

за срок 16.10.22 (3:00), 16.10.22 (15:00), 17.10.22 (3:00), 17.10.22 (9:00) и 17.10.22 (15:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с юго-запада, тип траектории D.Минимальное значение давления в центре циклона составило 744 мм.рт.ст.

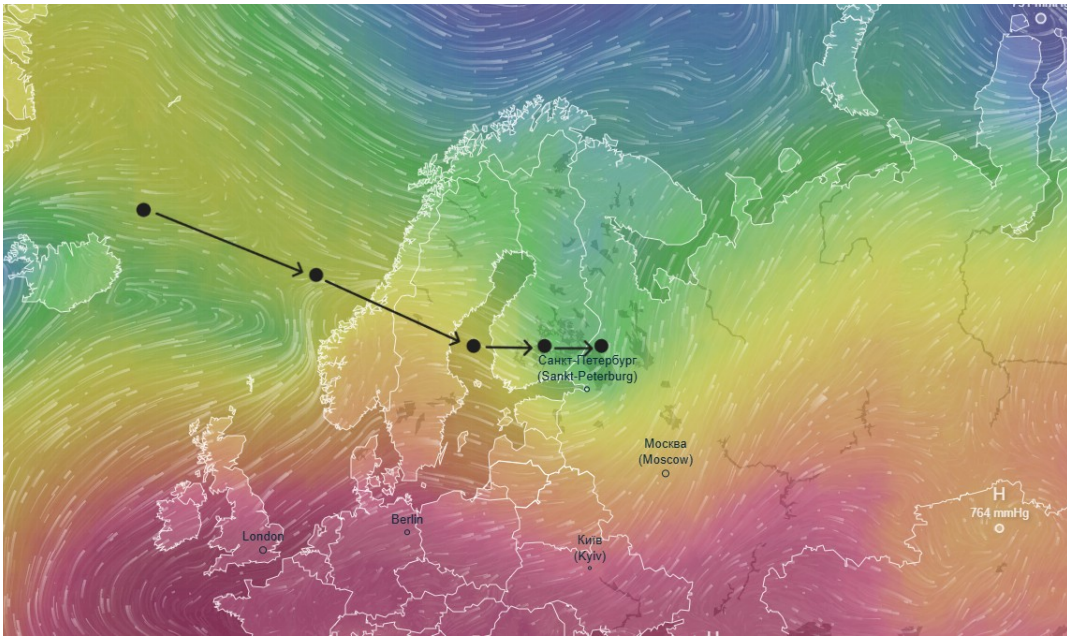


Рисунок 2.13. Синоптическая карта за 10 февраля 2023 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 184 см в 03:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 9.02.23 (3:00), 9.02.23 (15:00), 10.02.23 (3:00), 10.02.23 (9:00) и 10.02.23 (15:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с юго-запада, тип траектории D.Минимальное значение давления в центре циклона составило 737 мм.рт.ст.

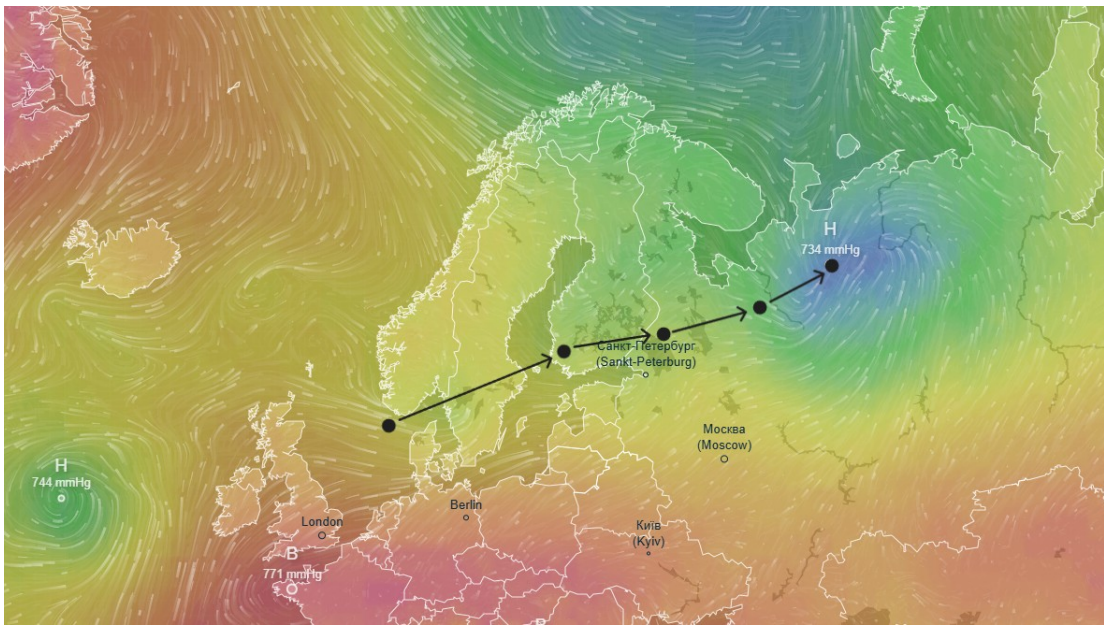


Рисунок 2.14. Синоптическая карта за 4 октября 2023 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 170 см в 16:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 3.10.23 (15:00), 3.10.23 (3:00), 4.10.23 (15:00), 4.10.23 (21:00) и 5.10.23 (3:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с запада, тип траектории В. Минимальное значение давления в центре циклона составило 741 мм.рт.ст.

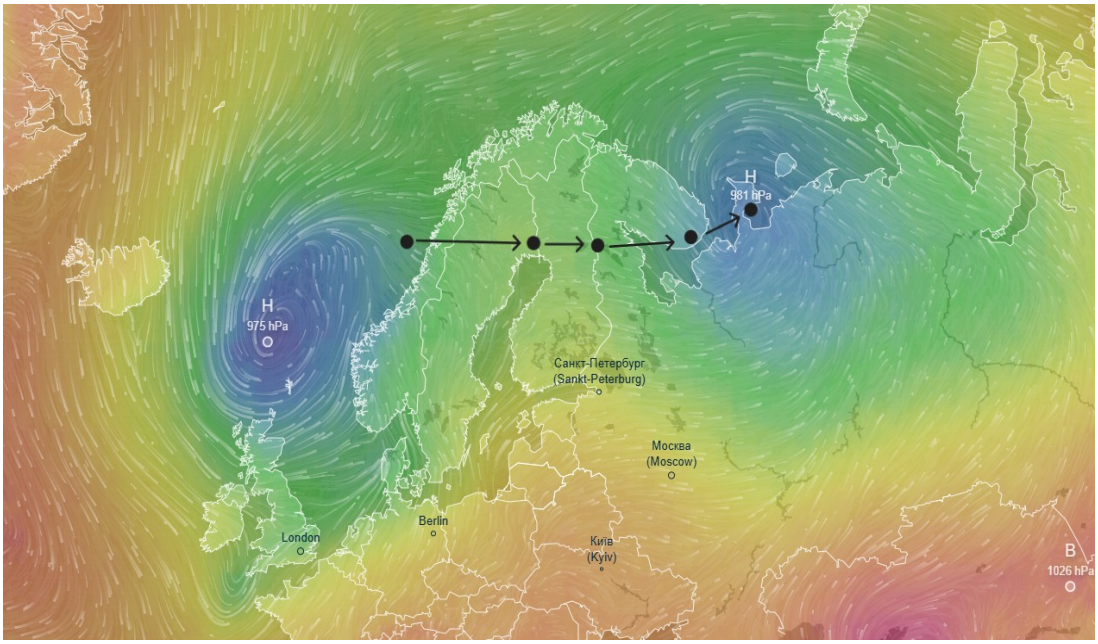


Рисунок 2.15. Синоптическая карта за 12 октября 2023 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 212 см в

16:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 11.10.23 (15:00), 12.10.23 (3:00), 12.10.23 (15:00), 12.10.23 (21:00) и 13.10.23 (3:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с северо-запада, тип траектории E. Минимальное значение давления в центре циклона составило 723 мм.рт.ст.

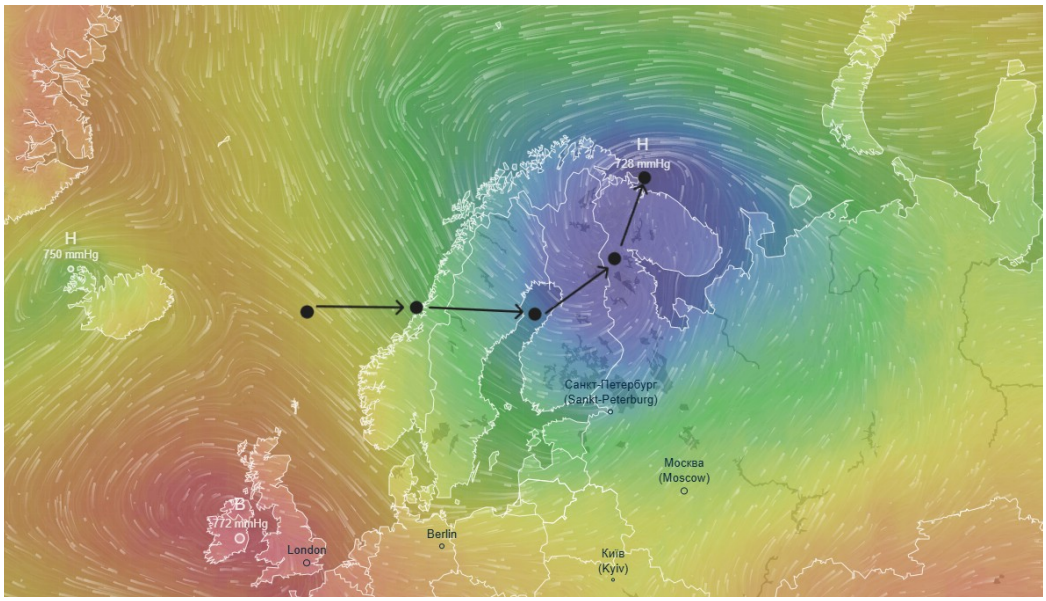


Рисунок 2.16. Синоптическая карта за 15 октября 2023 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 222 см в 03:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 14.10.23 (3:00), 14.10.23 (15:00), 15.10.23 (3:00), 15.10.23 (9:00) и 15.10.23 (15:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с северо-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составило 727 мм.рт.ст.

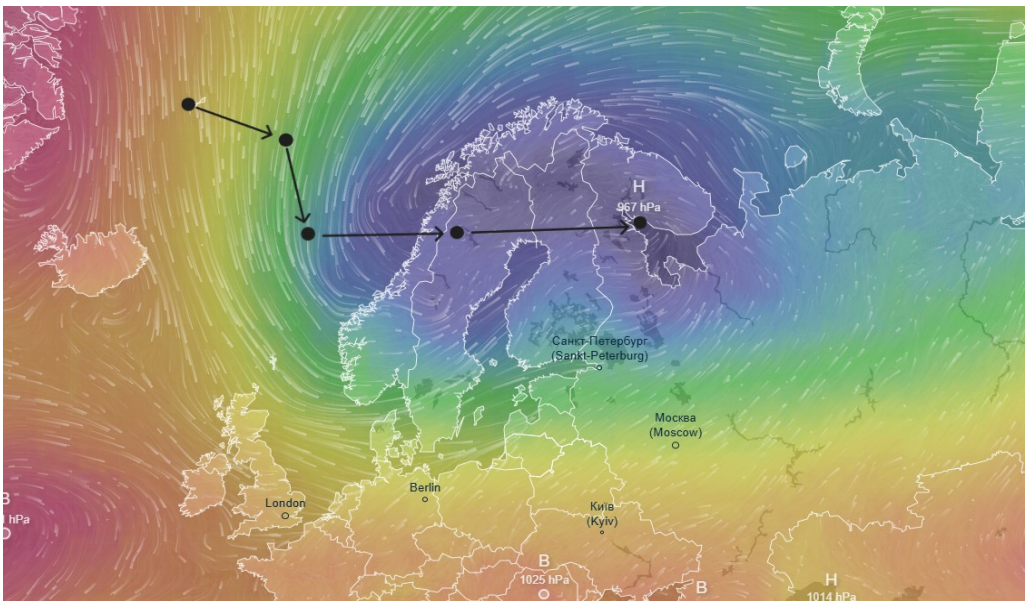


Рисунок 2.17. Синоптическая карта за 16 ноября 2024 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 200 см в 00:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 15.11.24 (00:00), 15.11.24 (12:00), 16.11.24 (00:00), 16.11.24 (12:00) и 17.11.24 (00:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходит с северо-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составляет 721 мм.рт.ст.

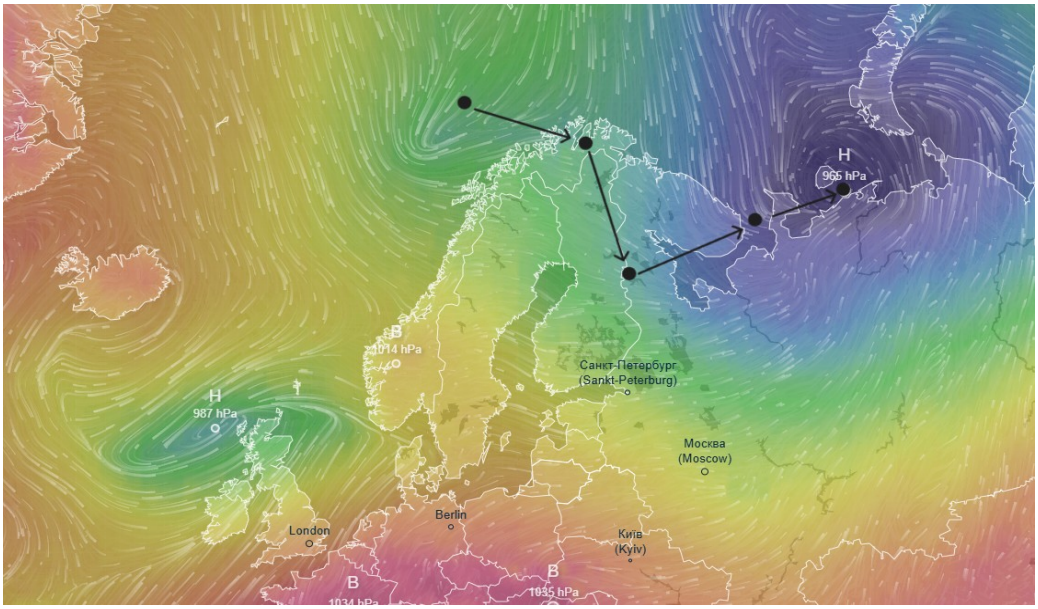


Рисунок 2.18. Синоптическая карта за 30 декабря 2024 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 167 см в 14:00 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона

за срок 29.12.24 (15:00), 30.12.24 (3:00), 30.12.24 (15:00), 30.12.24 (21:00) и 31.12.24 (3:00).

На данной карте мы видим, что движение циклона происходитс северо-запада, тип траектории D. Минимальное значение давления в центре циклона составляет 722 мм.рт.ст.

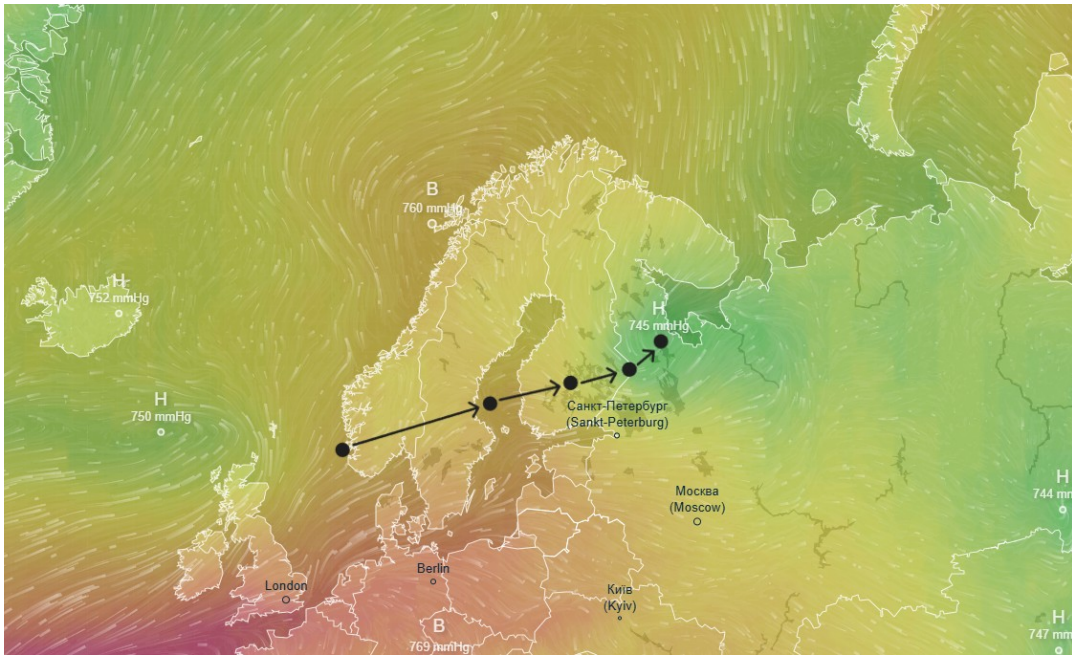


Рисунок 2.19. Синоптическая карта за 4 июля 2025 год. Траектория циклона (период 48 часов), который привёл к поднятию уровня на 184 см в 7:21 по МСК на внешней стороне КЗС. Отмечены точки положения циклона за срок 3.07.25 (6:00), 3.07.25 (18:00), 4.07.25 (6:00), 4.07.25 (12:00) и 4.07.25 (18:00).

На данной карет мы видим, что движение циклона происходит с запада, тип траектории B. Минимальное значение давления в центре циклона составило 742 мм.рт.ст.

Высота подъёма уровня при наводнениях в Финском заливе зависят от траектории движения циклона. Наибольшее число опасных подъёмов зи период с 2020 по 2025гг произошло именно при движении северо-западных циклонов, типов траектории Д и Е. Они являются опасными для города, но не создают самых больших подъёмов. За счёт движения таких циклонов может создаваться мощный ветровой поток вдоль оси Финского залива, и ветер сгоняет большие массы воды в узкое устье Невы (ветровой нагон). Благодаря

этому, при таких траекориях циклонов, происходят наиболее быстрые подъёмы воды. Но длинная волна в открытой Балтике обычно не формируется, т.к циклон проходит значительно севернее центральной части моря. Остальную часть, за рассмотренный период, составили типы траекторий циклонов B и C. За весь период наблюдений, именно такие траектории циклонов приводили к самым большим подъёмам уровня [8].

Дальше, после анализа синоптических карт, была составлена таблица значения давления в центре циклона и его координаты, за период с 6 февраля 2020 года по 4 июля 2025 года. В таблице указаны значения максимального подъёма уровня воды, координаты положения центра циклона при максимальном и минимальном подъёме воды, значения при минимальном давлении в центре циклона и типы траектории по направлению, по классификации [3].

№	Дата, время (МСК), значение макс. подъема уровня	Координаты положения центра циклона при макс. подъеме уровня °с.ш./°в.д	Дата, время (МСК) при мин. давлении в центре циклона	Координаты положения центра циклона при мин. подъеме уровня °с.ш./°в.д	Значение мин. давления мм.рт.ст	Тип траектории по направлению
1	06.02.20 (8:22) 165 см	58.58 °/51.44 °	5.02.20 (9:00)	58.24 °/31.35 °	720	Северо-запад (D)
2	18.02.20 (00:00) 173 см	60.89°/15.68 °	17.02.20 (3:00)	58.24 °/48.91 °	722	Северо-запад (E)
3	23.02.20 (1:00) 196см	64.6 °/24.6 °	22.02.2020 (3:00)	64.3 °/-1.1 °	718	Северо-запад (E)
4	24.02.20 (3:00) 172см	59.6 °/30.6 °	23.02.20 (3:00)	61.9 °/-13.4 °	740	Северо-запад (E)
5	13.03.20 (10:00) 163	58.05 °/ 20.88 °	12.03.20 (6:00)	56.94 °/14.46 °	733	Запад (C)

6	10.09.20 (17:40) 170	63.38 °/25.43 °	9.09.20 (15:00)	61.72 °/38.14 °	735	Запад (C)
7	13.09.20 (15:45) 173	67.80 °/1.87 °	12.09.20 (3:00)	67.40 °/0.33 °	734	Северо-запад (D)
8	22.10.21 (23:40) 218 см	62.5 °/42.2 °	22.02.21 (3:00)	62 °/22.5 °	726	Северо-запад (D)
9	24.11.21 (3:00) 170 см	63.8 °/42.7 °	24.11.21 (3:00)	65.8 °/25.3 °	741	Северо-запад (D)
10	18.02.22 (21:20) 167 см	67.2 °/32.4 °	17.02.22 (15:00)	57.9 °/22 °	720	Запад (B)
11	25.02.22 (21:00) 174 см	62.3 °/35 °	25.02.22 (3:00)	58.2 °/17 °	735	Запад (B)
12	17.10.22 (3:00) 170 см	60.5 °/21.7 °	16.10.22 (3:00)	58.7 °/-3.9 °	744	Северо-запад (D)
13	10.02.23 (3:00) 184 см	61.6 °/16 °	10.02.23 (3:00)	59.5 °/-1.52 °	737	Северо-запад (D)
14	4.10.23 (16:00) 170 см	63.7 °/39 °	4.10.23 (21:00)	64.2 °/41.3 °	741	Запад (B)
15	12.10.23 (16:00) 212 см	65.7 °/28.6 °	12.10.23 (3:00)	65.3 °/25.3 °	723	Северо-запад (E)
16	15.10.23 (3:00) 222 см	65.6 °/23.4 °	15.10.23 (3:00)	65.6 °/23.4 °	727	Северо-запад (D)
17	16.11.24 (0:00) 200 см	65.38 °/24.01 °	15.11.24 (3:00)	65.50 °/12.91 °	721	Северо-запад (D)
18	30.12.24 (14:00) 167 см	71.08 °/25.64 °	29.12.24 (21:00)	68.81°/47.39 °	722	Северо-запад (D)
19	04.07.25 (7:21) 184 см	65.1 °/38.6 °	04.07.25 (12:00)	67.4°/44.2 °	742	Запад (B)

Таблица 2.1-Значения давления в центре циклона, и его координаты

Анализируя графики и таблицу, можно сделать вывод, что всего наблюдалось 19 случаев опасных подъёмов уровня в ВЧФЗ за период с 2020 по 2025 гг. В основном типы траекторий составили: северо-западный и западный типы. Тип D наблюдался в 8 случаях, тип E - в 4. Западные типы траекторий отмечены в 7 случаях из 19: 4 случая по типу B и 3 случая по типу C. Несмотря на большое количество опасных подъёмов уровня, случавшиеся в рассматриваемый период времени, особо опасных наводнений выше 250 см не происходило. Максимальный подъём уровня - 222 м, был относительно недавно, 15 октября 2023 года. Наименьший подъём уровня, из наблюдавшихся в этот период, был 13 марта 2020 года, и составил всего 163 см.

Глава 3. Анализ циклонической деятельности над районом Балтийского моря и повторяемости наводнений в Финском заливе в период с 1901 по 2025гг.

Далее были рассмотрены данные о наводнениях с 1901 по 2025 гг., которые приведены в архивах, с зафиксированными случаями поднятия уровня выше 160 см. На водомерном (в/п) Горный институт или выше 150 см над Нулем Балтийской системы (нулем Кронштадтского футштока). Для этого к полному хронологическому списку наводнений в Санкт-Петербурге [4] и данных их монографии С.М. Гордеевой и В.Н Малинина [5] добавляем более поздние данные о случаях опасных подъёмов уровня и предотвращённых наводнениях, полученные с сайта Дирекции КЗС [1].

Для более подробного анализа изменений состояний уровня в ВЧФЗ в последние 125 лет, с 1901 по 2025гг., весь период был поделены на пятилетия, десятилетия, двадцатилетия и двадцатипятилетия. Графики повторяемости опасных подъёмов представлены на рисунках 3.1 - 3.4.



Рисунок 3.1 Повторяемость опасных подъёмов уровня в г.Санкт-Петербург в период с 1901 по 2025 гг. по пятилетиям

Анализируя данные графики, можно сделать вывод о том, что всего было зафиксировано, в период с 1901 по 2025 гг. 184 опасных поднятий

уровня выше 160 см.

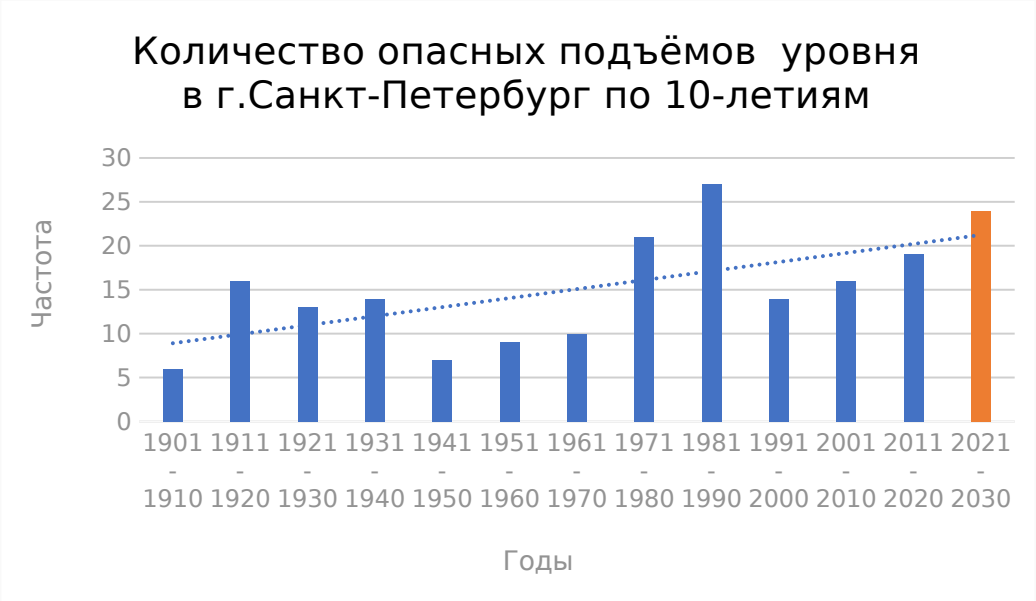


Рисунок 3.2 Частота возникновения наводнений с уровнем выше 160 см в период с 1901 по 2025 гг. по десятилетиям.

Последний столбец в графике отмечен оранжевым цветом, поскольку отображает экстраполяцию частоты подъёмов уровня воды выше 160 см за период 2021-2030.Показатели рассчитаны, с применением повышающего коэффициента 2.

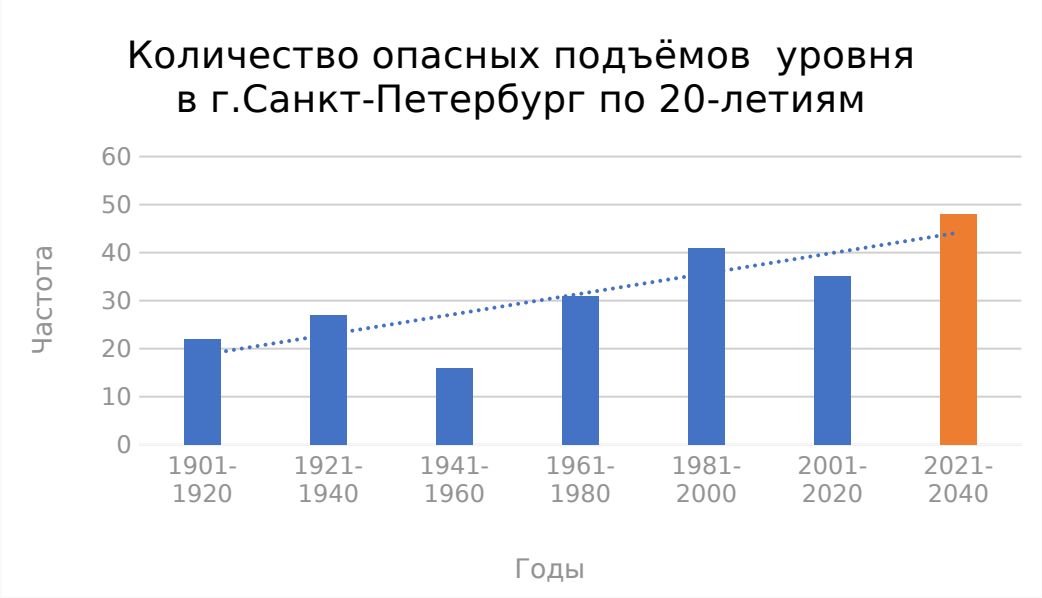


Рисунок 3.3 Частота возникновения наводнений с уровнем выше 160 см в период с 1901 по 2025 гг. по двадцатилетиям .

Последний столбец в графике отмечен оранжевым цветом, поскольку отображает экстраполяцию частоты подъёмов уровня воды выше 160 см за

период 2021-2040 гг.Показатель рассчитан, с применением повышающего коэффициента 4.

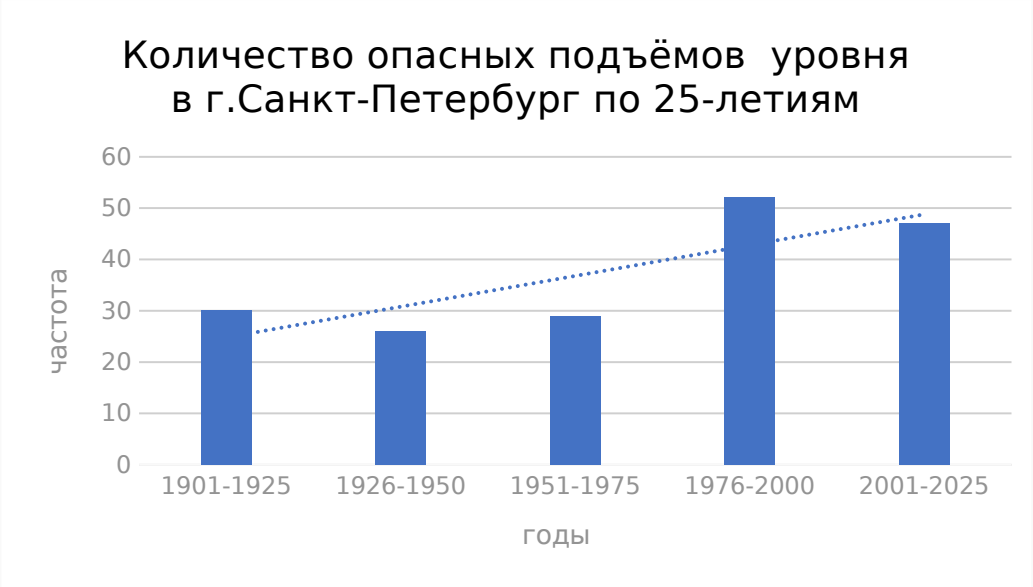


Рисунок 3.4 Частота возникновения наводнений с уровнем выше 160 см в период с 1901 по 2025 гг. по двадцапятилетиям

Анализируя графики распределения опасных подъёмов уровня, по 5, 10, 20 и 25-летиям, можно сказать, что отчётливо прослеживается закономерность возрастания частоты опасных подъёмов или линейный тренд на повышение. Количество опасных наводнений, уровень воды которых составил выше 160 см, значительно увеличился с начала второй половины 20 века по первую четверть 21 века, что вероятно объясняется соответствует и возросшей циклонической активностью. На рисунках 3.1, 3.2, где показана частота возникновения наводнений по пятилетиям и десятилетиям прослеживаются колебания частоты. Это колебания вероятно связаны с межгодовой изменчивости атмосферной циркуляции.

Анализ рисунков 3.3 и 3.4 показывает, что происходит очевидное увеличение повторяемости опасных подъёмов уровня. Если в первой половине 20 века наблюдалось около 50 наводнений, то за последние 50 лет число наводнений составило около 95 случаев, то есть почти в 2 раза чаще. Причина этого в изменении климата и повышении уровня Мирового океана.

Рассматривая общий список наводнений и опасных подъёмов за 1901

по 2025 гг., можно выявить закономерность, в каких именно сезонах наблюдалось наибольшее и наименьшее количество наводнений. Эти изменения показаны в таблице 3.1., где приведена частота наводнений и опасных подъёмов по сезонам за 25-летние периоды (почему 25 потому что четкая повторяемость)

Таблица 3.1

Сезонная закономерность частоты возникновение наводнений с уровнем выше 160 см в период с 1901 по 2025 гг.

	Всего	Весна	Лето	Осень	Зима
1901-1925	30\100%	2\6.7%	2\6.7%	20\66.6%	6\20%
1926-1950	26\100%	1\3.9%	3\11.5%	19\73.1%	3\11.5%
1951-1975	29\100%	2\6.9%	1\3.4%	15\51.7%	11\37.9%
1976-2000	52\100%	2\3.9%	0\0%	27\51.9%	23\44.2%
2001-2025	47\100%	2\4.3%	1\2.1%	17\36.2%	27\57.4%

Значительно большее количество опасных повышений уровня воды в Финском заливе наблюдается осенью и зимой. Это зависит, в основном, от циклической активности над Атлантико-Европейским сектором, которая достигает своего пика в осенний период времени. Как сказано выше, циклоны, проходящие над Балтикой, создают прогрессивную длинную волну, повышающую свою высоту в Финском заливе. Эффект усиливается штормовыми западными ветрами. В период с 1976 по 2025 гг. ситуация усугубляется тем, что за счёт потепление климата и отсутствие ледяного покрова в начале зимы ветер беспрепятственно воздействует на водную поверхность, и это увеличивает количество наводнений в зимний период.

Особенностью последних 50 лет является то, что максимум количества опасных подъёмов уровня в Финском заливе сместился с осени на зиму. Количество опасных подъёмов уровня весной и летом остаётся значительно меньшим, что наблюдалось и ранее. Это подтверждают данные таблицы 3.1.

Заключение:

Во многих литературных источниках указывалось, что опасные непериодические подъёмы уровня в Балтийском море и в Финском заливе в 90-е гг. 20 века и в первые 25 лет 21 века стали повторяться значительно чаще, чем в предыдущие годы и столетия.

Целью настоящей работы было проанализировать опасные подъёмы уровня в ВЧФЗ, происходившие в последние 6 лет, определить параметры и траектории циклонов, приводивших к этим подъёмам. А также добавить эти последние случаи к общему списку наводнений и подтвердить утверждение об увеличении их повторяемости по сравнению с предыдущими десятилетиями.

Показано, что за последние 6 лет с 2020 по 2025г произошло 19 опасных подъёмов уровня и соответственно случаев закрытия КЗС. В текущем 2026 году опасных подъёмов не было. Максимальный подъём уровня - 222 см за это период, был относительно недавно, 15октября 2023 года.

Большинство циклонов (13 из19), вызвавших опасные подъёмы за эти 6 лет, проходили по северным траекториям (D и E по классификации в статье Псаломщиковой и соавторов) [3]. Северные траектории наводненческих циклонов преобладали и за период 20 последних лет (24 случая из 46), что было показано в ВКР прошлых лет. Такие траектории обычно не приводят к экстремально высоким и максимальным подъёмам уровня в ВЧФЗ. По наиболее опасной западной траектории (C- по классификации) за последние 6 лет проходил только 1 циклон – последний 3-4 июля 2025 года. Подъём уровня на в/п Горный при этом прогнозировался (мог достигнуть) +215 см от нуля Балтийской системы, а составил, по данным Дирекции КЗС, 184 см на внешней стороне КЗС.

Проведён анализ повторяемости опасных подъёмов уровня и наводнений с 1901 по 2025 гг по пятилетиям, десятилетиям и 25-летиям. Во всех случаях отмечено увеличение повторяемости, можно выделить

положительный линейный тренд. Наиболее отчётливо увеличение повторяемости проявилось при рассмотрении 25-летних периодов. Так, в первые 75 лет 20 века было в среднем 25-30 наводнений за каждые 25 лет. Ранее было подсчитано, что и с начала основания С-Петербурга происходило в среднем 1 наводнение в год. А в двух последних четвертях - 52 и 47 случаев, что практически в 2 раза чаще.

Также на 25-летних периодах показано, что летом и весной опасные подъёмы происходил редко: 1-2 раза за каждый период, и эти повторяемости не изменились. Последний редкий летний подъём уровня и наводнение в ВЧФЗ - в июле 2025г. До конца 20 века чаще всего наблюдались осенние наводнения, что объяснялось активной циклонической деятельностью осенью. Однако очевидно, что с конца 90-х гг и особенно в последние 25 лет количество зимних подъёмов уровня сравнялось и превысило количество осенних. С 1976 по 2000 гг. осенью было 27, зимой - 23, а с 2001 по 2026 гг.– 17 и 27 соответственно.

Список использованных источников:

1. Дирекция комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга : офиц. сайт. - URL: https://dambaspb.ru/#intro

2. Международный метеорологический сервис Ventusky: офиц. сайт. - URL:https://www.ventusky.com/ru

3. Псаломщикова Л.М., Н.П.Мироничева, Г.Н. Бессан, Н.Р. Швецова. Метеоспектр №10 – статья "Характеристики значительных наводнений в устье Невы при разных синоптических ситуациях", 2010.

4. Полная хронологический список наводнений в Санкт-Петербурге (Петрограде, Ленинграде) : офиц. сайт. - URL: http://www.nevariver.ru/flood_list.php

5. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Изменчивость морского уровня Финского залива. -СПб.: РГГМУ, 2014. -179с.

6. Балтийский информационно-аналитический центр БИАЦ 2021: офиц. сайт. - URL:http://biac.oceanography.ru

7. Аверкиев А.С. Определение траекторий и скоростей циклона, приводящих к максимальным подъемам воды в Финском заливе //А.С. Аверкиев, К.А. Клеванный // Метеорология и гидрология.–2007.– № 8.–С.55 – 63.

8. Аверкиев А.С. Оценка влияния циклонической активности на колебания уровня воды в Невской губе.- Ученые записки РГГМУ, № 18, 2011.-с. 100-111

Приложение А

Таблица, включающая даты и время (МСК) максимального подъема уровня, типы синоптической ситуации, положения центров циклонов, минимальное давление и направление движение циклона с 2006 по 2025 гг. [7].

№ п/п	Дата, время (UTC), значение максимального подъёма уровня в СПб или на КЗС	Дата и время (UTC) минимального давления в центре циклона	Тип синоптической траектории циклонов	Положение центра циклона при максимальном подъеме уровня		Положение центрациклона при минимальном давлении в центре	
				широта	долгота	Широта	Долгота
1	28.10.2006 02:26 225 см	27.10.2006 12:00	B	62.5	38.5	63,50	22.5
2	15.12.2006 02:50 191 см	15.12.2006 12:00	E	65,00	35.5	65,00	40,00
3	10.01.2007 12:10 223 см	11.01.2007 18:00	A	57.5	11,00	65.5	35.5
4	15.01.2007 23:20 179 см	14.01.2007 12:00	C	—	—	60,00	18.5
5	16.01.2007 18:30 168 см	19.01.2007 6:00	A	—	—	57,00	29,00

6	18.01.2007 16:10 171 см	18.01.2007 15:00	D	62,00	25.5	62,00	25.5
7	16.10.2008 0:50 186 см	16.11.2008 9:00	C	61.5	30.5	62.5	36,00
8	28.11.2011 4:00 195 см	27.11.2011 18:00	C	62,00	1.5	61,00	23.5
9	26.12.2011 14:00 261 см	27.12.2011 21:00	E	–	–	63,00	40.5
10	27.12.2011 14:00 223 см	27.11.2011 21:00	E	–	–	63,00	40.5
11	29.10.2013 12:45 196	28.10.2013 18:00	B	65.5	35,00	58.5	13,00
12	13.12.2013 5:30 191 см	13.12.2013 15:00	D	63,00	36.5	63.5	40,00
13	02.01.2015 15:30 175 см	01.01.2015 0:00	C	62.8	37.3	64,00	22.7
14	13.01.2015 16:00	11.01.2015 0:00	B	63.4	34.3	59.8	24.6

	158 см						
15	10.12.2015 22:00	09.12.2015 0:00	D	66.4	11,00	64.5	2.5
16	27.12.2015 0:00	26.12.2015 0:00	E	62.3	47.3	70.9	39.3
17	27.08.2016 0:00	29.09.2016 0:00	A	54.4	5.6	62.3	40,00
18	05.12.2016 0:00	05.12.2016 0:00	D	60.8	29.8	60.8	29.8
19	12.12.2017 0:00	13.12.2017 0:00	A	57.8	19.5	68.7	29,00
20	22.12.2017 3:00 174 см	22.12.2017 0:00	B	65.6	22.4	65.6	22.4
21	23.12.2017 14:30	24.12.2017 0:00	E	62.6	40.2	60.1	13.8
22	08.01.2018 15:00 214	07.01.2018 15:00	C	59.5	30.3	64.8	12.2
23	26.09.2018 22:00 218	27.09,18 3:00	E	66.3	28.7	64.3	35.1
24	09.03.2019 10:51 181	09.03.2019 3:00	A	65.5	32	64.4	24.5
25	15.09.2019 20:51 170	14.09.2019 15:00	E	62.9	29.1	63.6	-23.3

26	01.10.2019 13:00 165	01.09.2019 3:00	A	64.4	19.5	61.8	21.7
27	19.12.2019 0:13 236	18.12.2019 15:00	A	61.4	38.1	60.1	23.8
28	06.02.2020 8:22 165	05.02.2020 9:00	D	58.58	51.44	58.24	31.35
29	18.02.2020 0:00 173	17.02.2020 3:00	E	60.89	15.68	58.24	48.91
30	23.02.2020 1:00 196	22.02.2020 3:00	E	64.6	24.6	64.3	-1.1
31	24.02.2020 3:00 172	23.02.2020 3:00	E	59.6	30.6	61.9	-13.4
32	13.03.2020 10:00 163	12.03.2020 6:00	C	58.05	20.88	56.94	14.46
33	10.09.2020 17:40 170	09.09.2020 15:00	C	63.38	25.43	61.72	38.14
34	13.09.2020 15:45	12.09.2020 3:00	D	67.80	1.87	67.40	0.33

	173						
35	22.10.2021 23:40 218	22.02.2021 3:00	D	62.5	42.2	62,00	22.5
36	24.11.2021 3:00 170	24.11.2021 3:00	D	63.8	42.7	65.8	25.3
37	18.02.2022 21.20 167	17.02.2022 15:00	B	67.2	32.4	57.9	22
38	25.02.2022 21:00 174	25.02.2022 3:00	B	62.3	35	58.24	17
39	17.10.2022 3:00 170	16.10.2022 3:00	D	60.5	21.7	58.7	-3.9
40	10.02.2023 3:00 184	10.02.2023 3:00	D	61.6	16	59.5	-1.52
41	04.10.2023 16:00 170	04.10.2023 21:00	B	63.7	39	64.2	41.3
42	12.10.2023 16:00 212	12.10.2023 3:00	E	65.7	28.6	65.3	25.3
43	15.10.2023 3:00	15.10.2023 3:00	D	65.6	23.4	65.6	23.4

	222						
44	16.11.2024 0:00 200	15.11.2024 3:00	D	65.38	24.01	65.50	12.91
45	30.12.2024 14:00 167	29.12.2024 21:00	D	71.08	25.64	68.81	47.39
46	04.07.2025 7:21 184	04.07.2025 12:00	B	65.1	38.6	67.40	44.2

Приложение Б

Даты и подъём уровня с 1901 по 2025 гг. в Финском заливе [4], [5].

Годы	Дата	Подъем уровня
1903	8 февраля	166
	25 ноября	269
1905	9 сентября	162
	11 сентября	211
1909	21 июля	181
1910	12 января	165
1911	6 ноября	171
1912	3 октября	168
1913	18 марта	175
	30 ноября	173
	1 декабря	180

	5 декабря	185
1914	27 января	213
	30 апреля	209
1916	13 октября	201
	16 октября	173
1917	27 сентября	199
	28 ноября	181
	30 ноября	244
1918	24 августа	224
	22 ноября	165
1919	25 ноября	161
1921	4 октября	209
	22 октября	193
	1 ноября	165
1922	24 ноября	228
1923	25 ноября	187
1924	23 сентября	380
1925	3 января	225
	9 октября	170
1927	2 ноября	188
1928	10 февраля	181
1929	15 октября	258
1930	21 марта	197
	13 ноября	163
1931	21 октября	203
1932	8 января	239
	21 августа	170

1933	5 августа	177
	11 августа	208
	12 октября	191
1934	4 октября	169
1935	8 октября	239
1936	24 декабря	161
1937	9 сентября	236
1938	14 сентября	233
	25 ноября	189
1940	15 ноября	156
	24 ноября	180
1942	25 октября	163
1944	1 сентября	159
1948	3 октября	201
	22 октября	205
	23 октября	185
1949	28 октября	178
1950	29 сентября	162
1951	2 декабря	164
	7 декабря	184
1952	26 августа	158
1954	14 октября	211
	12 ноября	187
1955	15 октября	282
	30 ноября	171
1957	25 октября	159
1958	18 мая	157

1961	31 марта	178
	7 декабря	160
1962	13 сентября	164
1963	17 ноября	192
1964	14 декабря	203
1967	14 октября	160
	18 октября	233
	19 октября	167
1968	30 октября	164
1969	11 ноября	155
1971	22 декабря	151
1973	10 октября	168
	20 декабря	229
1974	17 ноября	231
1975	6 января	205
	11 января	153
	29 сентября	270
	23 декабря	165
	31 декабря	176
	31 декабря	159
1976	8 января	156
1977	7 сентября	220
1978	15 ноября	193
	19 ноября	153
	20 ноября	193
	22 ноября	189
1979	14 сентября	184

	28 сентября	154
	5 декабря	161
	6 декабря	161
1980	30 декабря	155
1981	21 октября	167
1982	25 ноября	216
1982	17 декабря	215
1983	14 января	178
	21 января	184
	26 сентября	182
	28 сентября	174
	20 октября	190
	22 октября	170
	25 октября	168
	1 ноября	198
	3 ноября	200
	25 ноября	172
1984	1 января	231
	4 января	181
1985	26 октября	216
1986	3 октября	182
	2 декабря	207
	4 декабря	190
	6 декабря	260
1989	17 января	177
	30 января	173
	29 марта	199

1990	27 января	168
	22 февраля	199
	27 февраля	161
	25 марта	162
1991	10 января	166
	11 января	201
	22 ноября	173
	30 декабря	184
1992	5 января	175
1993	23 января	204
	21 декабря	168
1994	2 октября	219
	4 октября	184
	12 октября	228
	16 октября	163
	24 ноября	172
1998	19 октября	220
1999	30 ноября	262
2001	15 ноября	215
2002	26 января	171
	5 февраля	182
	10 марта	183
2003	30 декабря	197
2005	8 января	165
	9 января	239
	15 ноября	169
	15 ноября	183

2006	28 октября	225
	15 декабря	191
2007	10 января	223
	16 января	179
	16 января	168
	18 января	171
2008	16 октября	186
2011	28 ноября	195
	26 декабря	261
	27 декабря	223
2013	29 октября	196
	13 декабря	191
2015	2 января	175
	13 января	158
	10 декабря	
	27 декабря	
2016	27 августа	
	5 декабря	
2017	12 декабря	
	22 декабря	
	23 декабря	
2018	7 января	
	26 сентября	
	27 сентября	185
2019	8 марта	
	9 марта	181
	15 сентября	157

	1 октября	
	18 декабря	200
	26 декабря	
2020	20 января	
	21 января	151
	6 февраля	
	18 февраля	160
	22 февраля	
	24 февраля	
2021	22 октября	218
	24 ноября	170
2022	18 февраля	167
	25 февраля	174
	17 октября	170
2023	10 февраля	184
	4 октября	170
	12 октября	212
	15 октября	222
2024	16 ноября	200
	30 декабря	167
2025	4 июля	184