



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Конвективные явления Ленинградской области»

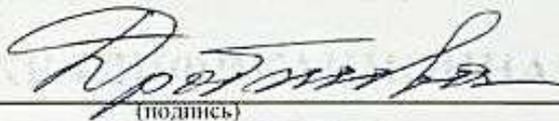
Исполнитель Нестеров Николай Александрович
(фамилия, имя, отчество)

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

Канухина Анна Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.о. заведующего кафедрой


(подпись)

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

Дробжева Яна Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

« 3 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Оглавление	
Введение	3
ГЛАВА 1. РАЗВИТИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ.	6
1.1 Понятие и виды конвекции.	6
1.2 Конвективные облака.	9
1.2.1 Классификация кучево-дождевых облаков.	9
1.2.2 Атмосферные условия образования кучево-дождевых облаков.	11
1.2.3 Стадии жизни кучево-дождевых облаков.....	14
1.3 Явления, сопровождающие конвективную облачность.....	17
1.3.1 Грозы	17
1.3.2 Ливни	18
1.3.3 Град.....	18
1.3.4 Шквалистый ветер.....	19
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	20
2.1 Выбор станций.....	20
2.2 Воейково.	22
2.3 Сосново.	23
2.4 Ломоносов.....	25
2.5 Белогорка.	26
2.6 Кириши.	27
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.	29
3.1 Исходные данные.	29
3.2 Суточная изменчивость конвективных явлений.	29

3.3	Месячная изменчивость конвективных явлений.	36
3.4	Синоптические ситуации, характерные для возникновения конвективных явлений.	42
4.	Заключение.	49
	Список используемой литературы.	52

Введение

Конвективные облака, ливневые осадки, грозы, крупа и град относятся к числу наиболее опасных, быстро меняющихся и трудно предсказуемых метеорологических явлений. Всесторонний анализ характеристик этих явлениях имеет высокую значимость как для научных исследований, так и для решения практических задач в метеорологии и климатологии. Конвективные процессы в атмосфере проявляются в широком диапазоне масштабов – от микромасштабных процессов развития термической конвекции в нестабильно стратифицированной атмосфере, например, в городской среде, до формирования конвективных облаков фронтального типа, охватывающих обширные территории. Во всех случаях рельеф местности оказывает существенное влияние на развитие конвекции, способствуя образованию ливней, гроз, града и крупы, что, в свою очередь, определяет достаточно неравномерное их пространственно-временное распределение. Учитывая сложный физический механизм формирования ливневых осадков, гроз, крупы и града, недостаточную изученность закономерностей их изменчивости в пространстве и времени, а также присущий конвективным явлениям, зачастую, локальный характер, обусловленный влиянием подстилающей поверхности, можно заключить, что региональные исследования являются необходимым шагом на пути к решению проблем их прогнозирования. Следовательно, изучение закономерностей распределения ливневых осадков и гроз, а также условий их формирования с использованием эмпирических данных представляет собой значительный интерес, поскольку позволит углубить понимание физических процессов, лежащих в основе конвективных явлений.

Актуальность темы заключается в проведении климатического и синоптического анализа конвективных явлений Ленинградской области, а именно: гроз, шквалистого ветра, града и ливневых осадков, связанных с кучево-дождевой облачностью, которые оказывают значительное влияние на различные сферы производственной деятельности. Мощные конвективные

процессы могут являться причиной сильных, разрушительных порывов ветра как горизонтальных, так и вертикальных, резких подъемов уровня воды в небольших водоемах, губительного для сельскохозяйственных культур крупного града [1].

Цель работы: провести анализ повторяемости, условий возникновения и развития конвективных явлений, зарегистрированных в Ленинградской области.

Задачи:

- Подготовка данных о конвективных явлениях из архива погоды.
- Проведение статистического анализа данных за разные периоды для различных станций Ленинградской области.
- Анализ полученных результатов относительно частоты возникновения явлений, синоптических условий их возникновения и развития для различных станций области.

Ленинградская область, расположенная на северо-западе России, характеризуется сложными атмосферными процессами, включая активное взаимодействие морских и континентальных воздушных масс. Это создает благоприятные условия для развития конвективных явлений, таких как ливни, грозы, шквалы и даже смерчи, которые в последние годы наблюдаются чаще, чем в прошлом. Усиление конвективной активности может быть связано с глобальными изменениями климата, приводящими к увеличению температурных контрастов и влагосодержания в атмосфере. Именно поэтому изучение конвективных явлений в Ленинградской области актуально по настоящий момент.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав и заключения.

В первой главе содержится информация о конвекции, конвективных явлениях и конвективной облачности.

Во второй главе содержится информация о метеостанциях, выбранных для изучения конвективных явлений, особенностях их физико-климатических характеристик и уникального расположения.

Третья глава включает в себя практическую часть: описание и анализ архивных данных, а также обзор синоптических ситуаций, характерных для Ленинградской области, анализ полученных результатов и выявление закономерностей.

ГЛАВА 1. РАЗВИТИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ.

1.1 Понятие и виды конвекции.

Из многочисленных мезометеорологических процессов наибольшую роль в атмосфере играет конвекция, особенно если она сопровождается образованием кучевых и кучево-дождевых облаков [2].

Конвекция возникает из-за неравномерного нагрева воздуха и неустойчивости нижних слоев атмосферы. Наиболее интенсивно этот процесс происходит над сушей в теплое время года в областях низкого давления. Причина неустойчивости – сильный нагрев земной поверхности солнечным излучением, из-за чего отдельные, перегретые объемы воздуха быстро поднимаются вверх.

Конвекция зависит от вертикального распределения температуры в атмосфере. Восходящий воздух поднимается до момента, пока его температура остаётся выше температуры окружающего. Нисходящий воздух же, наоборот, опускается до тех пор, пока он холоднее. Но восходящий воздух из-за расширения охлаждается на $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ подъёма, пока в нём не начался процесс конденсации, это величина сухоадиабатического градиента, а после начала конденсации (образования облаков), сопровождающейся выделением скрытой теплоты, — на переменную величину в несколько десятых долей $1/100\text{м}$ подъёма (влажноадиабатический градиент). Таким образом, для поддержания конвективных процессов необходимо, чтобы изменение температуры с высотой в атмосфере превышало сухоадиабатический градиент до уровня конденсации и влажноадиабатический градиент выше этого уровня; это соответствует неустойчивой стратификации атмосферы. Данные условия реализуются летом над интенсивно прогреваемой сушей и круглогодично при переносе воздушных масс с более холодной подстилающей поверхности на более теплую. Слои атмосферы с небольшим изменением температуры по высоте, особенно при наличии температурных инверсий, препятствуют развитию конвекции.

Теперь рассмотрим виды конвекции:

Термическая конвекция – это самопроизвольная конвекция, возникающая в веществе при неравномерном нагреве. Для возникновения естественной конвекции необходимо либо нагрев снизу, либо охлаждение сверху.

Термическая конвекция вызывает образование облаков и многие другие атмосферные явления. Возникновение конвекции, называемой термической, обусловлено различной по вертикали плотностью воздушных масс. Важную роль в формировании термической конвекции над сушей играет теплофизическая неоднородность подстилающей поверхности, приводящая к чередованию теплых и холодных участков. В пограничном слое атмосферы, над более теплыми участками, воздух нагревается, создавая зоны с меньшей плотностью, чем окружающий воздух.

Термическая конвекция до уровня конденсации является сухоадиабатической, а после достижения этого уровня становится влажноадиабатической. Летний период, особенно дневное время, наиболее благоприятен для развития термической конвекции.

Динамическая конвекция возникает, когда вещество перемещается под воздействием внешних сил. Она формируется при взаимодействии воздушного потока с подстилающей поверхностью или при конвергенции воздушных потоков вблизи подстилающей поверхности. Подъему воздуха способствует натекание динамического потока на горные склоны.

Вынужденные вертикальные движения воздуха проявляются как в виде упорядоченных восходящих скольжений, так и в виде непосредственно вертикальных движений. Восходящие скольжения наблюдаются при натекании теплого воздуха на клин холодного. Вертикальная скорость этих движений невелика – порядка нескольких сантиметров в секунду, однако горизонтальная протяженность зон скольжения может достигать сотен и даже тысяч километров (например, на теплом фронте).

Вертикальные движения возникают при активном подклинивании холодного воздуха под теплый, что характерно для холодного фронта, и при

обтекании воздушным потоком крупных препятствий, таких как холмы, сопки и горные хребты. Скорость этих вынужденных вертикальных движений варьируется от нескольких десятков сантиметров в секунду (на медленно движущемся холодном фронте) до нескольких метров в секунду, а иногда и до 15-20 м/с (в облаках быстро движущегося холодного фронта и при подъеме воздуха вдоль склонов гор).

Свободная конвекция – основная причина большей части атмосферных движений. В 80-90% случаев энергия океанических течений индуцируется конвективными движениями в атмосфере, а оставшиеся 10-20% обусловлены свободной конвекцией, возникающей непосредственно в океане. В настоящее время признано, что мантия Земли на протяжении длительного времени течет, участвуя в конвективном движении, и конвекция также возможна в ядре планеты. Свободная конвекция подразделяется на два основных типа: рэлеевская, обусловленная превышением вертикального градиента плотности над адиабатическим при однородных тепловых и плотностных условиях по горизонтали, и боковая, возникающая из-за неоднородности этих условий. В качестве примеров боковой конвекции в атмосфере можно привести междуширотную циркуляцию воздуха, вызванную неравномерным прогревом на разных широтах, муссонную циркуляцию, обусловленную постоянным или сезонным различием в тепловом режиме поверхности материков и океанов, и бризовую циркуляцию, формирующуюся из-за разного нагрева поверхности моря и суши или различных областей суши в течение суток. Вертикальная рэлеевская конвекция в атмосфере, в свою очередь, является причиной образования небольших облаков над большими территориями.

Этот тип конвекции наиболее заметен в теплых секторах, может быть, как весной, так и осенью. Время суток не имеет решающего значения, главное условие – небольшой прогрев от земной поверхности.

1.2 Конвективные облака.

1.2.1 Классификация кучево-дождевых облаков.

Структура и эволюция отдельных типов конвективной облачности зависят от неустойчивости стратификации, содержания водяного пара, вертикального профиля направления и скорости ветра [3]. Одноячейковые облака имеют следующие характеристики: вертикальная протяжённость (толщина) от 1-2 км (зимой) до 3-4 км (летом), диаметр 1—3 км. С ними связаны кратковременные ливневые осадки, иногда слабые грозы. Пример цикла жизни одноячейкового облака представлен на рисунке 1.

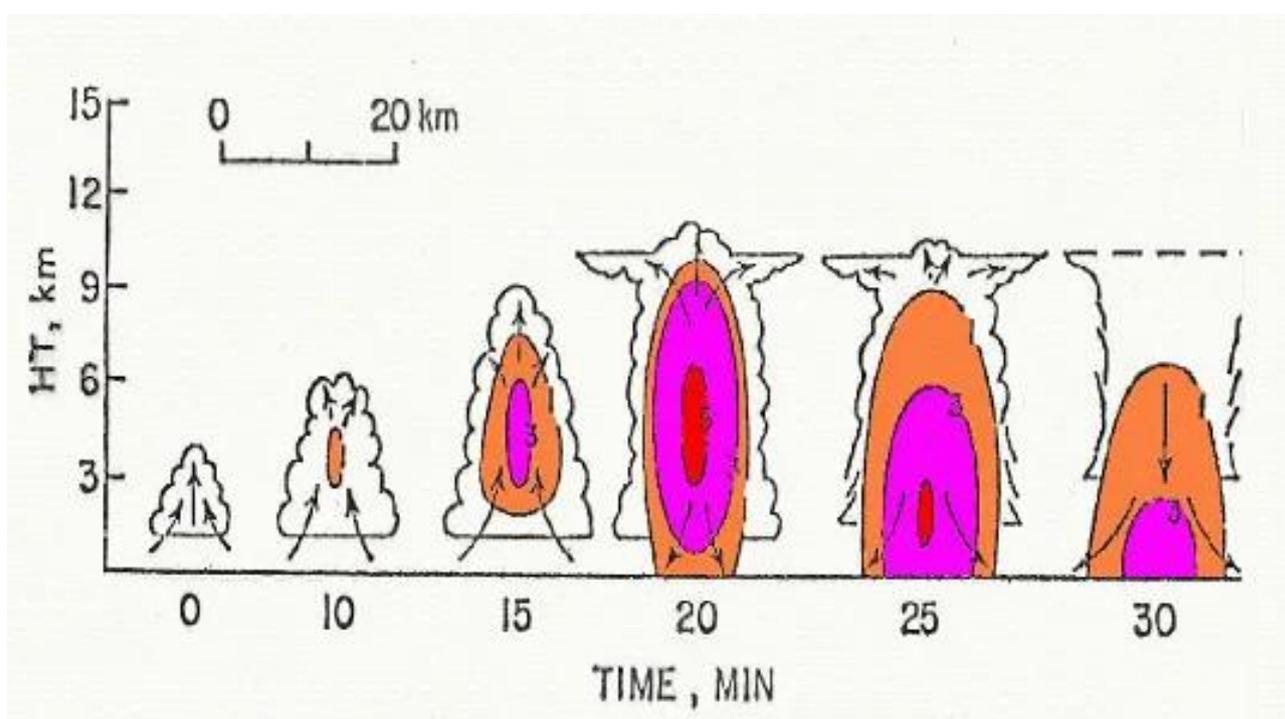


Рисунок 1 – Цикл жизни одноячейкового облака [8].

Мультиячейковые облака представляют собой скопления множества ячеек, объединенных в кластер, над которым формируется общая наковальня. Каждая ячейка в этом кластере, подобно обычному одноячейковому облаку, проходит этапы развития грозового облака. На рисунке 2 показаны стадии развития от только развивающихся ячеек до зрелых и уже распадающихся.

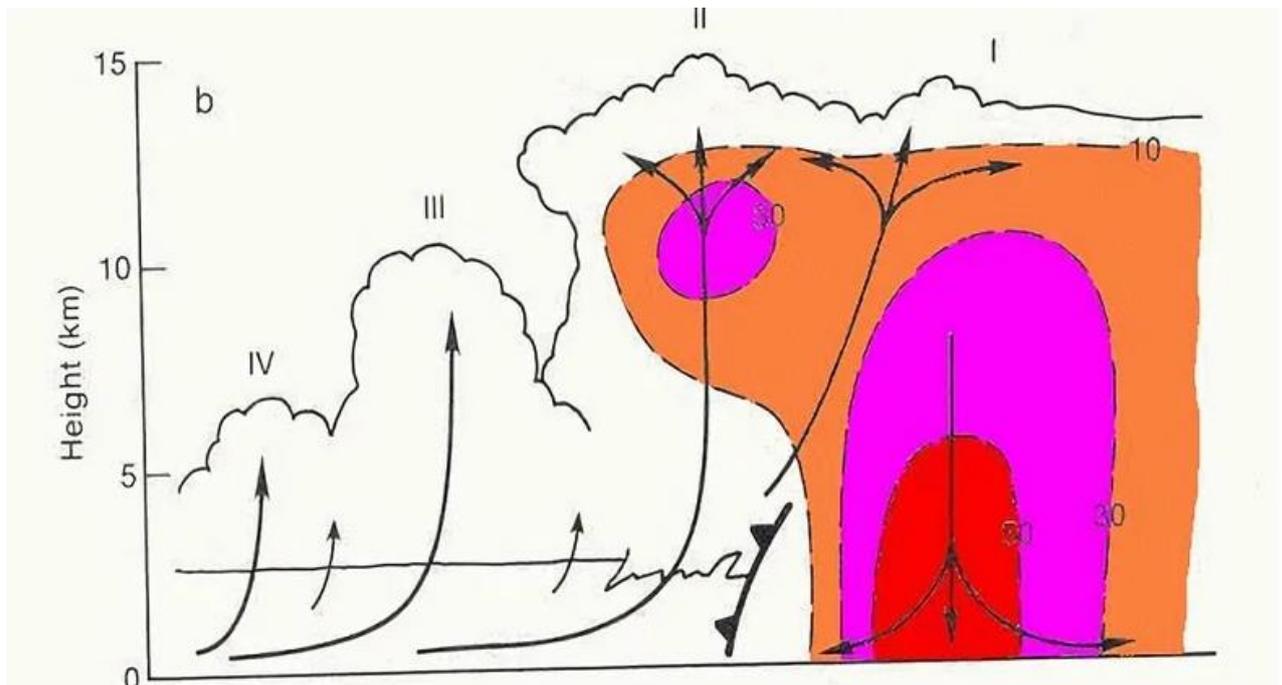


Рисунок 2 – Многоячейковое облако [9].

Мультиячейки характеризуются интенсивными ливнями, грозами, шквалами и иногда градом. Летом в средних широтах это самый распространенный тип кучево-дождевых облаков. Отдельные ячейки в мультиячейковом кластере достигают зрелости примерно за 20 минут, в то время как сам кластер может существовать несколько часов. Диаметр такого скопления составляет 15-20 км, толщина - 7-10 км, а вершины ячеек часто достигают тропопаузы и даже проникают в стратосферу. Мультиячейковая гроза обычно сильнее одоячейковой, но слабее суперячейковой.

Суперячейковые – это гигантские одиночные ячейки, достигающие 50 км в диаметре и 10-15 км в толщину, нередко проникающие в стратосферу и формирующие единую полукруглую наковальню. Для суперячейки (рисунок 3) характерна сложная система вертикальных и горизонтальных воздушных потоков, а также локальное понижение давления – мезоциклон.

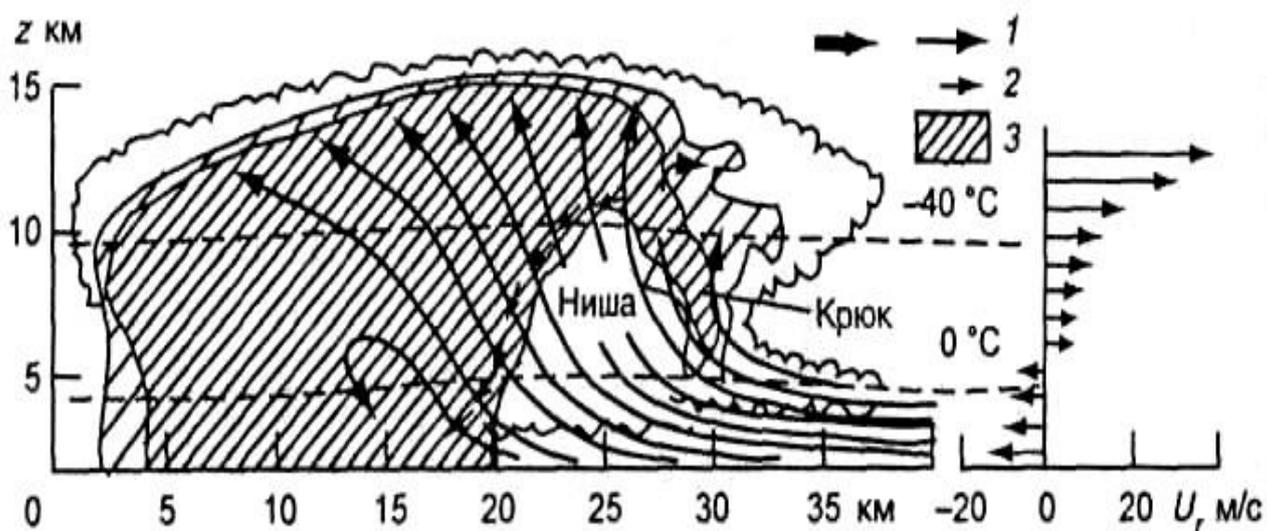


Рисунок 3 – Схема строения суперчейкового облака [10].

Суперчейки порождают самые сильные грозы, ливни, шквалы, град и часто торнадо. В средних широтах они редки (в конкретной точке наблюдаются не каждый год), а в России чаще встречаются на Кавказе. Для формирования суперчейки необходимы: высокая конвективная неустойчивость (обычно температура воздуха у земли перед грозой $+27\dots+30^\circ\text{C}$ и выше), мощное струйное течение в верхней тропосфере, резкое увеличение скорости и изменение направления ветра с высотой. Большие вертикальные сдвиги ветра создают завихрения в восходящем потоке и формируют мезоциклон.

В итоге для формирования суперчейки благоприятен тёплый сектор циклона недалеко перед холодным фронтом, вблизи оси высотной фронтальной зоны и соответствующего ей струйного течения.

1.2.2 Атмосферные условия образования кучево-дождевых облаков.

Состояние атмосферы (или стратификация атмосферы) называется неустойчивым, если вертикальные движения развиваются, передаваясь от уровня к уровню [4]. Кучево-дождевые облака очень мощные и плотные, сильно вытянутые по вертикали. Их нижняя граница располагается примерно в двух километрах над землей, а верхняя может достигать высоты 14 километров.

Благодаря своей способности вызывать грозы и сильные ливни, эти облака также называют грозовыми. Их характерной чертой является темный цвет, обусловленный большим содержанием влаги.

Теперь рассмотрим атмосферные условия образования кучево-дождевых облаков:

- Конвективная неустойчивость атмосферы.

Для оценки устойчивости стратификации по отношению к динамической конвекции используется понятие конвективной неустойчивости. Возникает при вынужденном подъеме изначально устойчивого влажного воздушного слоя конечной толщины до уровня конденсации Z_k и выше. Если $Z > Z_k$, воздух сохраняет устойчивую стратификацию, и независимо от значения γ на высотах $Z > Z_k$, говорят о конвективной устойчивости. В обратном случае, когда при $Z > Z_k$ стратификация становится влажнонеустойчивой, наблюдается конвективная неустойчивость. Это понятие применяется для анализа условий развития конвекции при упорядоченном крупномасштабном восходящем движении воздуха. Если поднимающийся воздух конвективно устойчив, в нем образуются только однородные слоистообразные облака, такие как N_s или A_s . Однако при конвективной неустойчивости, помимо N_s и A_s , формируются также C_u и C_b .

- Влажность и температура.

Значение относительной влажности у поверхности земли играет важную роль, так как именно там формируется большая часть термиков. Высота основания кучевых C_u и кучево-дождевых C_b облаков, а также степень влияния на их параметры процесса вовлечения зависят от влажности и ее распределения по высоте в конвективном слое. Температура и влажность являются ключевыми факторами, определяющими влагосодержание воздуха у основания облака, его водность и количество тепла, выделяющегося при фазовых переходах. Это тепло служит основным источником энергии для развития кучево-дождевой конвекции. Особенности температурной стратификации атмосферы на уровне верхней границы облака объясняют, почему кучево-дождевое облако

приобретает форму «наковальни». В верхней части тропосферы воздух перестает охлаждаться (тропопауза), и температура стабилизируется, создавая так называемый «термальный потолок». Этот «потолок» ограничивает вертикальный рост облака, заставляя его растекаться в горизонтальном направлении. Основным условием формирования кучево-дождевой облачности является наличие запаса теплого и влажного воздуха. Этот воздух служит источником энергии, питающим облако и способствующим его росту. Восходящие потоки в центральной части облака могут достигать скорости 40–110 км/ч, а воздушное течение, создающее эти потоки, называется притоком. Когда притекающий воздух теплый и насыщен влагой, при конденсации водяного пара в облаке выделяется значительное количество тепла. Эта энергия, высвобождаемая при конденсации, усиливает подвижность воздушных масс в центре облака, что, в свою очередь, усиливает восходящие потоки и способствует дальнейшему росту кучево-дождевого облака.

- Ветер.

Ветры в тропосфере, окружающие кучево-дождевое облако С_b, с увеличением высоты должны значительно усиливаться в направлении движения облака, что заставляет его наклоняться вперед. Если наклона не происходит, возникает ситуация, угрожающая существованию облака, поскольку его центральная часть, где формируются осадки и мощные восходящие потоки, становится уязвимой. При выпадении осадков вдоль облака происходит охлаждение воздуха. Осадки частично испаряются и увлекают облако за собой, создавая быстро движущийся нисходящий поток. Этот поток может поглотить восходящий поток и за короткое время «уничтожить» ранее мощное кучево-дождевое облако. Нисходящие потоки достигают поверхности земли и растекаются, часто формируя слой низких облаков на переднем крае. Однако если ветры способствуют наклону облака, осадки выпадают немного позади восходящего потока, что снижает вероятность его подавления и позволяет облаку продолжать развиваться.

- Синоптическая ситуация.

Как внутримассовые, так и фронтальные условия могут способствовать формированию кучево-дождевых облаков. Если рассматривать внутримассовые условия, то конвективное развитие облачности чаще всего наблюдается в заполняющихся депрессиях, на тыловой периферии антициклонов и, реже, в центральных областях ослабленных антициклонов.

- Подстилающая поверхность.

Неравномерность поверхности земли играет ключевую роль в образовании кучево-дождевых облаков. Из-за различий в нагреве одни участки поверхности прогреваются интенсивнее, а другие — слабее. Как уже упоминалось ранее, формирование кучево-дождевой облачности напрямую связано с температурными и влажностными условиями, включая показатели у поверхности земли.

1.2.3 Стадии жизни кучево-дождевых облаков.

Начальный этап формирования облака, известный как стадия первоначального развития, длится от момента его возникновения до начала выпадения осадков. При подходящих атмосферных условиях кучевые облака активно растут как в высоту, так и в ширину. В этот период восходящие воздушные потоки охватывают практически весь объем облака, достигая скорости до 5 м/с, тогда как нисходящие движения остаются едва заметными. Через границы и верхнюю часть облака происходит интенсивное проникновение окружающего воздуха, что способствует его смешению с облачной массой. В результате облако эволюционирует в стадию *Cumulus mediocris*.

Внутри облака мельчайшие капли, сформировавшиеся в процессе конденсации, объединяются в более крупные, которые затем подхватываются мощными восходящими потоками. На этом этапе облако сохраняет однородную структуру, состоящую из водяных капель, удерживаемых восходящими

движениями, поэтому осадки еще не образуются. Однако в верхних слоях, где температура опускается ниже нуля, капли постепенно кристаллизуются, превращаясь в ледяные частицы. Это знаменует переход облака в фазу *Cumulus congestus* (мощно-кучевого облака).

Смешанный состав облачных элементов способствует их укрупнению, создавая предпосылки для выпадения осадков. На этой стадии облако классифицируется как *Cumulonimbus* (кучево-дождевое) или *Cumulonimbus calvus* (кучево-дождевое "лысое"). Внутри него вертикальные потоки могут ускоряться до 20 м/с, а верхняя граница поднимается до 7–8 км. При этом между облачными массами начинают формироваться нисходящие воздушные течения. Пример развития кучево-дождевой облачности на рисунке 4.

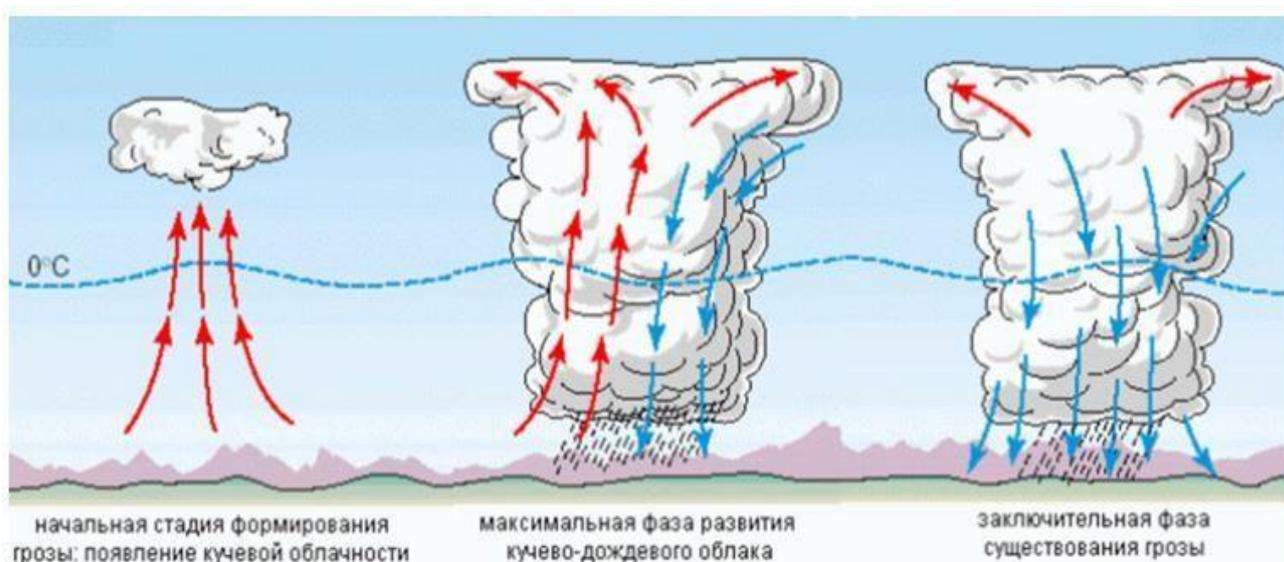


Рисунок 4 – Стадии развития кучево-дождевой облачности [10].

Фаза максимального развития (наиболее опасная стадия) начинается с момента выпадения интенсивных осадков и образования ледяных кристаллов в верхней части мощного кучевого облака. В этот период облако приобретает характерные черты кучево-дождевого типа (*Cumulonimbus*). Его вершина, расположенная в зоне отрицательных температур, состоит преимущественно из ледяных частиц, тогда как нижние слои, находящиеся в положительном

температурном диапазоне, содержат переохлажденные капли воды. Промежуточная часть (между изотермами 0°C и -20°C) имеет смешанный состав, включающий как капли, так и кристаллы льда. Внутри облака могут формироваться различные виды осадков: град, снег и крупные дождевые капли.

В результате интенсивных процессов в облаке возникает сильное электрическое поле, приводящее к образованию грозовых разрядов (молний). Выпадение ливневых осадков происходит из-за того, что восходящие потоки уже не способны удерживать укрупненные частицы. Турбулентность внутри облака резко усиливается с началом выпадения осадков. Скорость восходящих потоков может превышать 20–30 м/с, а нисходящих – достигать 15 м/с. Эти интенсивные вертикальные движения сопровождаются резкими порывами ветра, скорость которых нередко доходит до 12–14 м/с. Для авиации особую опасность представляют порывы свыше 10 м/с, а также их частая повторяемость при скоростях более 6 м/с.

Финальная стадия – стадия разрушения представляет собой заключительный этап существования кучево-дождевого облака. Этот процесс начинается с постепенного распада его структуры. Интенсивные осадки охватывают значительную часть нижнего слоя облака, что способствует преобладанию нисходящих воздушных потоков со скоростью не более 5–10 м/с.

Деструкция облачной массы обычно стартует с нижних слоёв. Характерным признаком начала разрушения служит изменение формы нижней границы – она приобретает волнообразные очертания с выраженными провисаниями (так называемая "вымеобразная" структура).

В результате полного распада кучево-дождевого облака формируются отдельные фрагменты в виде:

- слоисто-кучевых (Sc),
- высококучевых (Ac),
- перистых (Ci) облаков.

Этот процесс знаменует окончание жизненного цикла мощного конвективного облака.

1.3 Явления, сопровождающие конвективную облачность

1.3.1 Грозы

Гроза представляет собой комплексное явление образования и развития кучево-дождевого облака, которое сопровождается многократными электрическими разрядами в виде молний и звуковым эффектом, называемым громом. Возникновение гроз тесно связано с развитием конвективной облачности, в которой наблюдаются интенсивные вертикальные движения, обуславливающие наличие интенсивных зон турбулентности и образование крупных ледяных кристаллов. Типичное развитие кучево-дождевых облаков и выпадение из них осадков связано с мощными проявлениями атмосферного электричества, а именно с многократными электрическими разрядами в облаках или между облаками и Землей. Гроза часто сопровождается еще и кратковременными усилениями ветра – шквалам [5].

Грозовое облако в процессе эволюции последовательно проходит несколько фаз развития, характеризующихся различной интенсивностью конвективных процессов, фазовым составом облачных элементов, особенностями электрической активности.

В метеорологической практике принято выделять три основные стадии развития грозового образования, каждая из которых создает уникальные и потенциально опасные условия для авиационных полетов.

Начальная стадия развития. Эта стадия начинается от зарождения облака и заканчивается выпадением первых капель дождя. Сначала это обычное кучевое облако, которое постепенно трансформируется в мощное кучевое. Нижняя граница таких облаков колеблется в пределах 800 - 1500 м, а верхняя - 3-5 км. Восходящие вертикальные токи в облаках могут достигать 15-20 м/с, а нисходящие токи очень слабые. Эта стадия развития кучево-дождевого облака наименее опасна для полетов. В зоне облака может наблюдаться слабая или умеренная турбулентность и слабое или умеренное обледенение в зоне отрицательных температур [6].

Стадия зрелого облака характеризуется активным процессом выпадения осадков и продолжается до начала деструкции облачной системы. Критерием перехода в эту стадию служит появление первых дождевых капель, что указывает на формирование ледяных кристаллов в верхней части облака.

Перечислим основные характеристики стадии зрелости грозового облака.

Стадия рассеяния представляет собой заключительный этап эволюции грозового образования. Этот период начинается с момента дезинтеграции облачной структуры и продолжается до полного преобразования в другие типы облаков.

1.3.2 Ливни

Ливень представляет собой интенсивные атмосферные осадки, при которых количество выпадающей влаги за единицу времени (обычно за минуту) превышает установленные нормативные значения. Важно отметить, что критический показатель интенсивности обратно пропорционален продолжительности дождя — чем дольше продолжается ливень, тем меньшая интенсивность требуется для его классификации.

1.3.3 Град

Формирование и выпадение града представляет собой сложный атмосферный процесс. Внутри мощного кучево-дождевого облака частицы льда многократно перемещаются вверх и вниз под действием сильных восходящих потоков. При каждом таком цикле градина увеличивается в размерах, последовательно наращивая слои за счет замерзания переохлажденных капель воды.

Рост градин — это увлекательный процесс, который в значительной степени зависит от мощных вертикальных воздушных потоков. Для того чтобы образовались крупные градины диаметром до 10 сантиметров, эти восходящие

потоки воздуха должны достигать поразительной скорости около 200 километров в час. Эти сильные потоки играют решающую роль, удерживая частицы льда высоко в атмосфере, позволяя им сталкиваться и объединяться по мере их многократного подъема. Этот непрерывный цикл подъема и накопления в конечном итоге приводит к образованию крупных разрушительных градин.

1.3.4 Шквалистый ветер

Шквал - резкое кратковременное усиление ветра, сопровождающееся обычно и изменением его направления [7]. В отличие от устойчивых ветров, он носит кратковременный, но интенсивный характер, часто сопровождаясь грозовой активностью.

Физическая основа явления связана с нисходящими потоками холодного воздуха, формирующимися внутри мощных кучево-дождевых облаков. Причина их возникновения — охлаждение воздушных масс за счет испарения осадков и фазовых переходов влаги. Достигая поверхности, холодный воздух растекается в стороны, создавая зону турбулентного ветра с высокой скоростью.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.

2.1 Выбор станций.

Ленинградская область характеризуется сложным взаимодействием морских и континентальных воздушных масс, что создает благоприятные условия для развития конвективных процессов. Для их детального изучения важно выбрать метеостанции, расположенные в различных географических и микроклиматических зонах региона. Станции Воейково, Сосново, Ломоносов, Белогорка и Кириши представляют особый интерес, поскольку каждая из них отражает уникальные особенности формирования конвекции, обусловленные различными факторами.

Метеостанция Воейково занимает центральное место в климатическом мониторинге Северо-Западного региона. Уникальность этой станции заключается в ее способности предоставлять репрезентативные данные для анализа конвективных процессов в многолетнем разрезе, что позволяет учитывать, как естественные климатические колебания, так и воздействие антропогенных факторов. Географическое положение позволяет исследовать влияние урбанизации на атмосферные процессы, в частности для изучения особенностей конвекции в условиях городского "теплового острова".

Станция Сосново находится в северной части области и отличается более выраженным влиянием Ладожского озера и лесных массивов. Здесь конвективные явления часто сопровождаются шквалистыми ветрами и интенсивными осадками, особенно при прохождении холодных фронтов. Лесистая местность также способствует формированию локальных термических потоков, что важно для изучения мезомасштабных конвективных систем.

Ломоносовская метеостанция, расположенная на южном побережье Финского залива, фиксирует влияние Балтийского моря на конвективные процессы. Морские бризы и адвекция влажного воздуха создают условия для развития гроз в теплый сезон. Это делает станцию ценной для анализа роли морских воздушных масс в конвекции.

Белогорка, находящаяся в южной части области, представляет зону с более континентальными чертами климата. Здесь чаще отмечаются резкие перепады температур, способствующие мощной термической конвекции. Станция важна для изучения сухих гроз.

Метеостанция Кириши располагается в восточной части области, в зоне активного промышленного влияния, что позволяет исследовать, как техногенные факторы, например, выбросы предприятий, могут влиять на конвективные процессы. Кроме того, близость к реке Волхов способствует повышенной влажности, усиливающей кучево-дождевую облачность и ливневую активность в летний период.

Каждая метеостанция является уникальной с точки зрения микроклиматических условий и влияния локальных факторов на формирование конвективных процессов. Различия в расположении и окружении каждой станции создают уникальные условия для развития конвекции, что необходимо учитывать при анализе и прогнозировании опасных метеорологических явлений в Ленинградской области. Комплексный анализ данных метеорологических станций Ленинградской области может не только подтвердить общефизические закономерности конвективных процессов, но и выявить их специфические региональные проявления, что имеет важное значение для теоретической метеорологии.

Именно поэтому выбор этих метеостанций для анализа конвективных явлений в Ленинградской области является обоснованным и оправданным.

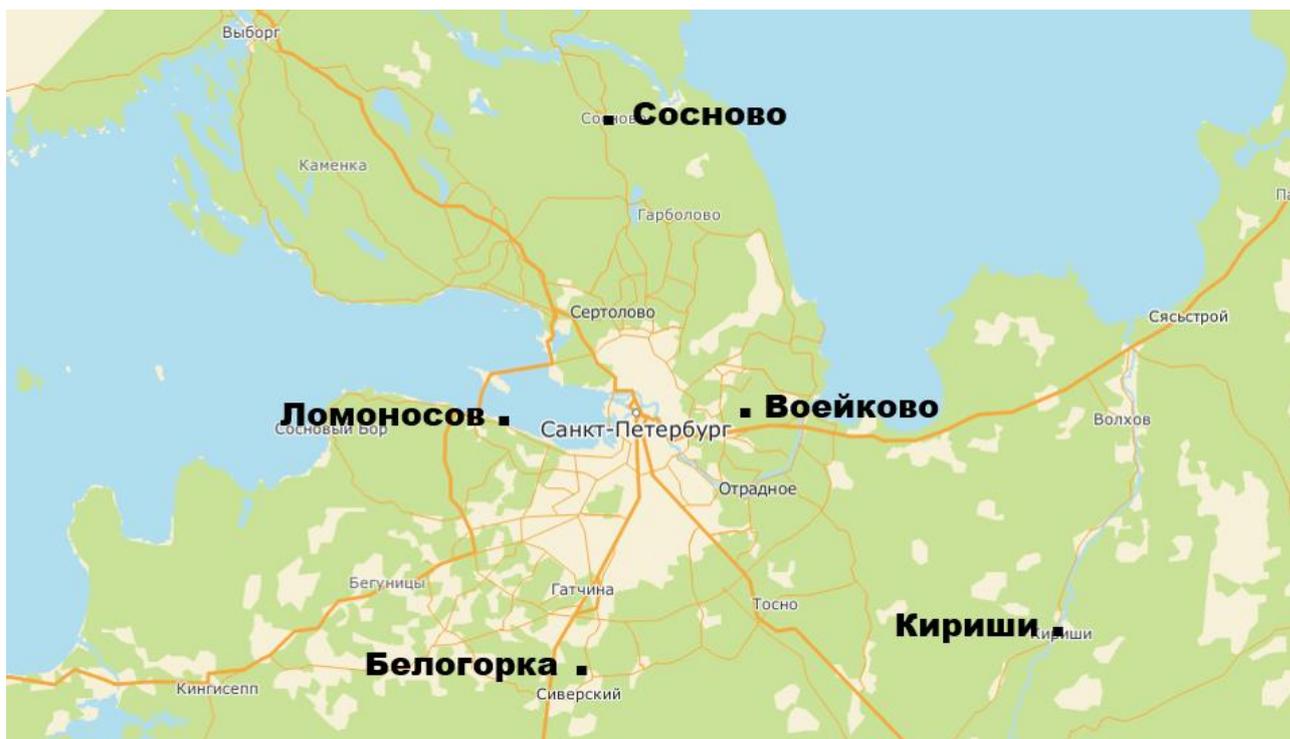


Рисунок 5 – Расположение метеостанций.

2.2 Воейково.

Метеостанция Воейково — одна из старейших и наиболее значимых метеорологических станций России, расположенная во Всеволожском районе Ленинградской области, примерно в 15 км к востоку от Санкт-Петербурга. Она входит в состав Главной геофизической обсерватории и ведёт непрерывные наблюдения за погодой и климатом с XIX века.

Географическое положение станции делает её важным пунктом мониторинга погодных условий Северо-Запада России.

Климат в районе метеостанции умеренно-континентальный, с заметным влиянием Балтийского моря, которое смягчает температурные колебания и повышает влажность. Среднегодовая температура составляет около $+4,5^{\circ}\text{C}$. Зимы здесь умеренно холодные, со средней температурой января около -8°C , частыми оттепелями и устойчивым снежным покровом. Лето, как правило, прохладное, со средней июльской температурой $+18^{\circ}\text{C}$, что характерно для всего региона. Осадков выпадает значительное количество — порядка 650–700

мм в год, с максимумом в конце лета и начале осени. Преобладают западные и юго-западные ветры, особенно в холодное время года, что связано с циклонической активностью над Балтикой.

В теплый период года, когда солнце достаточно активно прогревает земную поверхность, в приземных слоях атмосферы формируются благоприятные условия для развития конвекции. Нагрев воздуха в сочетании с высокой влажностью, которую обеспечивает близость Финского залива и обилие местных водоемов, приводит к образованию кучево-дождевых облаков. Дополнительным фактором, усиливающим конвективные процессы, служит частая смена воздушных масс, связанная с прохождением атлантических циклонов. Эти циклоны приносят резкие перепады температуры и влажности, создавая условия для мощных восходящих потоков.

Наиболее интенсивные грозовые явления обычно связаны с холодными фронтами, которые приносят не только электрическую активность, но и сильные ливни. Осадки конвективного характера здесь отличаются высокой интенсивностью.

Помимо гроз и ливней в этом регионе отмечаются шквалы, сопровождающие мощные кучево-дождевые облака. Они могут возникать как при прохождении фронтов, так и внутри массивов неустойчивых воздушных масс.

2.3 Сосново.

Метеостанция расположена примерно в 60 километрах к северо-востоку от Санкт-Петербурга. Эта станция занимает важное место в системе метеонаблюдений северо-западного региона России, обеспечивая сбор данных о погодных условиях в зоне, где умеренно-континентальный климат проявляет свои характерные черты с некоторым влиянием близости Балтийского моря и Ладожского озера.

Географическое положение станции (примерные координаты 60°33' с. ш., 30°13' в. д.) определяет её климатические особенности. Местность здесь равнинная, с преобладанием смешанных лесов и многочисленными небольшими озёрами, что создаёт специфический микроклимат с умеренными температурными колебаниями. Высота над уровнем моря составляет около 50–60 метров, что типично для большей части Ленинградской области.

Климат в районе метеостанции Сосново характеризуется мягкой, но влажной зимой и относительно прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха составляет около +3°C. Зимние месяцы, особенно январь, обычно имеют среднюю температуру в пределах –8...–10°C, однако частые атлантические циклоны приносят оттепели, временно повышая температуру до положительных значений. Снежный покров устойчивый, формируется в конце ноября – начале декабря и сохраняется до середины апреля.

Лето в Сосново умеренно тёплое, со средней температурой июля +17°C. Жаркие дни случаются редко, а ночи даже в самый тёплый период остаются прохладными. Осадки распределяются в течение года относительно равномерно, с небольшим увеличением в летне-осенний период. Годовое количество осадков составляет примерно 650–700 мм, причём значительная их часть выпадает в виде дождей, хотя зимой нередки и обильные снегопады.

Особенностью местного климата является высокая влажность воздуха, обусловленная близостью крупных водоёмов и обилием лесов. Это также способствует частым туманам, особенно в переходные сезоны – весной и осенью. Ветровой режим характеризуется преобладанием западных и юго-западных направлений, что связано с общей циркуляцией воздушных масс в регионе.

Наибольшая активность конвективных процессов наблюдается с мая по август, когда температурные контрасты между прогретой сушей и относительно холодными водными массами создают благоприятные условия для развития восходящих потоков. В эти месяцы метеостанция регулярно регистрирует грозовые явления, которые в среднем происходят 15-20 раз за сезон. Грозы

часто сопровождаются интенсивными, но кратковременными ливнями. Особую силу эти явления приобретают при прохождении атмосферных фронтов, когда столкновение воздушных масс разной температуры усиливает конвективную активность.

Характерной особенностью местной конвекции является относительно небольшая высота облаков по сравнению с более южными регионами, что связано с особенностями атмосферной циркуляции в этом районе. Тем не менее, даже при таких условиях иногда наблюдаются шкваловые усиления ветра до 15-20 м/с, особенно в предгрозовой период.

2.4 Ломоносов.

Метеостанция Ломоносов расположена на южном побережье Финского залива. Это место отличается умеренно-континентальным климатом с заметным влиянием Балтийского моря, что приводит к сравнительно мягким зимам и нежарким летним периодам. Близость к воде способствует повышенной влажности воздуха, а также частым туманам, особенно в переходные сезоны.

Зимой здесь редко устанавливаются сильные морозы благодаря согревающему воздействию залива, однако из-за высокой влажности холод ощущается сильнее. Летом температура обычно держится в комфортных пределах, а жара выше +25°C бывает нечасто. Осадки распределены в течение года относительно равномерно, хотя максимум приходится на осенние месяцы, когда активизируются циклоны с Атлантики.

Главная особенность метеостанции Ломоносов — её расположение в прибрежной зоне, что делает её данные важными для анализа микроклиматических процессов Финского залива. Здесь часто наблюдаются бризы, которые днём несут прохладу с воды, а ночью — обратные потоки воздуха.

Конвективные явления проявляются в умеренной степени, что характерно для прибрежных районов северо-запада России с их относительно прохладным

и влажным климатом. Летом, при достаточном прогреве воздуха, здесь могут формироваться кучевые и кучево-дождевые облака, приводящие к кратковременным ливням и грозам. Однако из-за близости Финского залива конвекция часто оказывается менее интенсивной, чем в континентальных районах Ленинградской области — морской воздух умеряет температурные контрасты, необходимые для развития мощных восходящих потоков.

Наиболее активные конвективные процессы наблюдаются во второй половине лета, когда, прогрев суши достигает максимума, а вторжения более холодного воздуха с запада или севера создают неустойчивую стратификацию атмосферы. В такие периоды возможны грозы, иногда со шквалистым ветром. Однако значительных конвективных явлений, таких как крупный град и смерчи, здесь практически не бывает.

2.5 Белогорка.

Метеостанция Белогорка расположена в Гатчинском районе, и является одной из старейших в регионе. Ее географическое положение характеризуется равнинным рельефом с небольшими холмами, а окружающая местность покрыта смешанными лесами и сельскохозяйственными угодьями. Близость к Финскому заливу и Балтийскому морю оказывает заметное влияние на климатические условия, формируя умеренно-континентальный климат с чертами морского.

Для этой местности характерна мягкая, но изменчивая погода с частыми осадками, которые распределяются относительно равномерно в течение года. Зимы здесь умеренно холодные, с частыми оттепелями, а лето — прохладное, без устойчивой жары. Среднегодовая температура колеблется в пределах +4...+5°C, что типично для северо-запада России. Весна и осень продолжительные, с постепенными перепадами температур и высокой влажностью.

Особенностью метеостанции Белогорка является ее роль в мониторинге агроклиматических условий, так как окружающие поля активно используются в сельском хозяйстве. Кроме того, станция фиксирует влияние атлантических воздушных масс, которые приносят циклоны, усиливая ветра и увеличивая облачность. Благодаря своему расположению вдали от крупных городов, данные станции считаются репрезентативными для фонового состояния атмосферы, что делает ее важным звеном в системе гидрометеорологических наблюдений Северо-Западного региона.

Летом, при достаточном увлажнении и дневном нагреве, над станцией часто наблюдаются локальные грозы, иногда сопровождающиеся градом. Поскольку территория окружена лесами и полями, конвекция усиливается за счет неравномерного прогрева разных типов подстилающей поверхности. В отдельные годы, при устойчивом затоке тропического воздуха, возможны более интенсивные грозовые процессы с сильными ливнями, которые могут приводить к кратковременному подтоплению низинных участков. Весной и ранней осенью конвективные явления выражены слабее.

2.6 Кириши.

Метеостанция Кириши расположена в одноимённом городе, который находится на правом берегу реки Волхов. Это место отличается умеренно-континентальным климатом, характерным для северо-запада России, но с некоторыми особенностями, обусловленными близостью к Ладожскому озеру и речной долине.

Климат в Киришах формируется под влиянием атлантических воздушных масс, которые приносят повышенную влажность и относительно мягкие зимы, а также континентальных воздушных потоков, способствующих резким похолоданиям зимой и теплым, иногда жарким периодам летом. Среднегодовая температура здесь составляет около $+5^{\circ}\text{C}$, при этом зимние температуры нередко опускаются ниже -15°C , а летние могут достигать $+25\dots+30^{\circ}\text{C}$.

Особенностью расположения метеостанции является ее близость к промышленной зоне, включающей нефтеперерабатывающие предприятия, что может влиять на локальные метеопараметры, такие как запыленность воздуха и температурные аномалии. Кроме того, рельеф местности — равнинный с небольшими возвышенностями — способствует свободному перемещению воздушных масс, но при этом в низинах возможно образование туманов, особенно в осенне-весенний период.

Конвективные явления на метеостанции Кириши проявляются достаточно активно, что связано с умеренно-континентальным климатом и влиянием местных географических факторов.

Благодаря равнинному рельефу и достаточной увлажненности воздушных масс, поступающих с Атлантики и Ладожского озера, конвекция развивается достаточно интенсивно, хотя и не достигает такой силы, как в более южных регионах. Наибольшая вероятность мощных конвективных процессов возникает в июне-июле, когда приток солнечной энергии максимален, а влажность воздуха повышена. В такие периоды метеостанция может фиксировать резкие усиления ветра, связанные со шквалами, а также кратковременные, но сильные дожди.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.

3.1 Исходные данные.

Для анализа особенностей таких конвективных явления как ливни, грозы и шквалы в Ленинградской области за период 2017-2019 годы с мая по сентябрь, были использованы данные сайта «РП5». В нем представлен архив погоды с выбранных метеостанций.

3.2 Суточная изменчивость конвективных явлений.

Используя архив «РП5» были получены сводные таблицы по каждой метеостанции. На первом этапе были проанализированы особенности временного распределения конвективных явлений по данным наблюдений на метеостанциях.

На станции Воейково мы можем видеть основное проявление теплового острова, которое выражается в заметном сдвиге суточных максимумов конвективной активности на более позднее время (таблица 1). Если в естественных условиях пик термической конвекции обычно наблюдается около 15 часов, то в Воейково он смещается на 16-17 часов. Эта особенность объясняется инерционностью прогрева городской застройки - бетонные и асфальтовые поверхности дольше аккумулируют тепло в дневные часы и медленнее остывают вечером, создавая запаздывающий термический импульс для развития конвекции. График суточного хода явлений представлен на рисунке 6.

Таблица 1 – Суточный ход явлений на метеостанции Воейково за 2017-2019 гг.

Явление	Часы (МСК)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Часы	0	3	6	9	12	15	18	21
Ливни	5	9	4	6	13	23	20	7
Грозы	6	9	3	6	4	14	18	26
Шквал	10	9	5	18	53	93	79	42

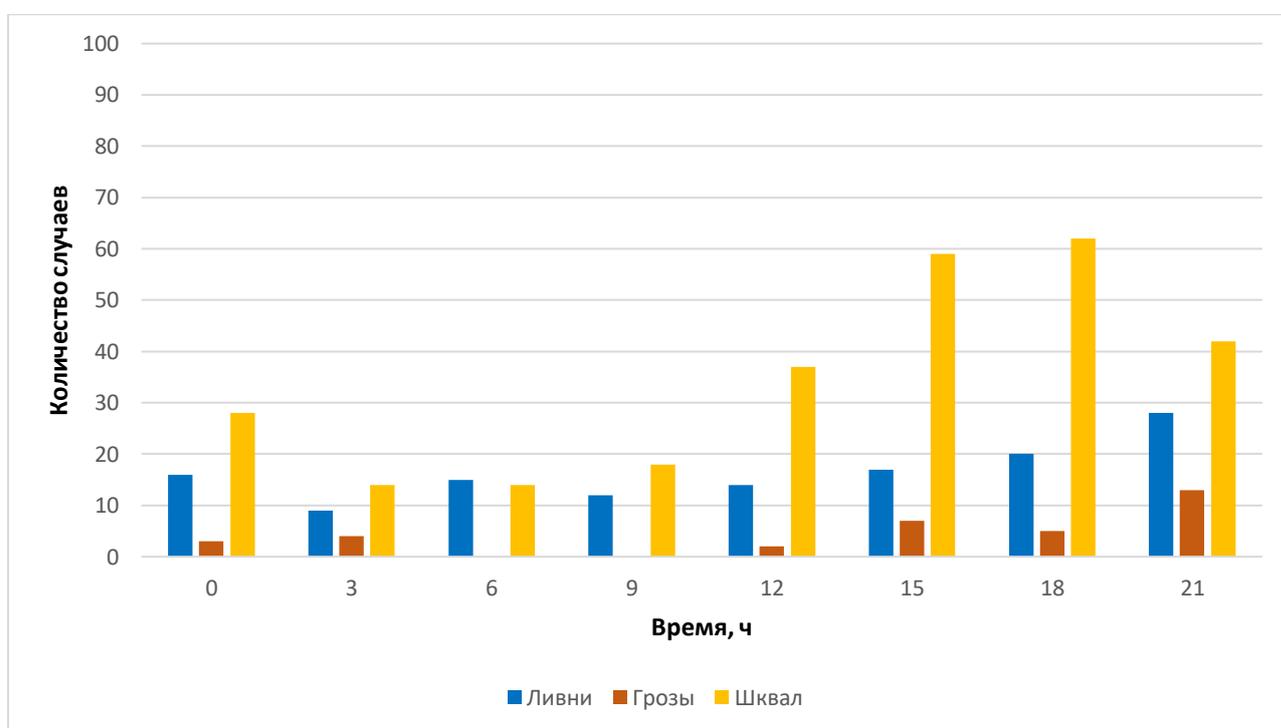


Рисунок 6 – График суточного хода явлений на метеостанции Воейково 2017-2019 гг.

На метеостанции Сосново наблюдается значительное превышение количества ливневых осадков по сравнению с другими станциями Ленинградской области (таблица 2). Прежде всего это связано с близостью Ладожского озера. В летний период озеро, имеющее температуру поверхности на 3-5°С ниже окружающей суши, формирует устойчивую бризовую циркуляцию. Дневной бриз приносит на станцию насыщенные влагой

воздушные массы, которые при контакте с прогретыми лесными массивами создают идеальные условия для развития мощной конвекции. На рисунке 7 можно видеть, что большая часть конвективных явлений была зафиксирована в сроки 12-18.

Таблица 2 – Суточный ход явлений на метеостанции Сосново 2017-2019 гг.

Явление	Часы (МСК)								
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Часы	0	3	6	9	12	15	18	21	
Ливни	25	16	19	27	37	49	45	29	
Грозы	6	6	1	3	5	15	12	15	
Шквал	16	6	13	17	33	53	49	29	

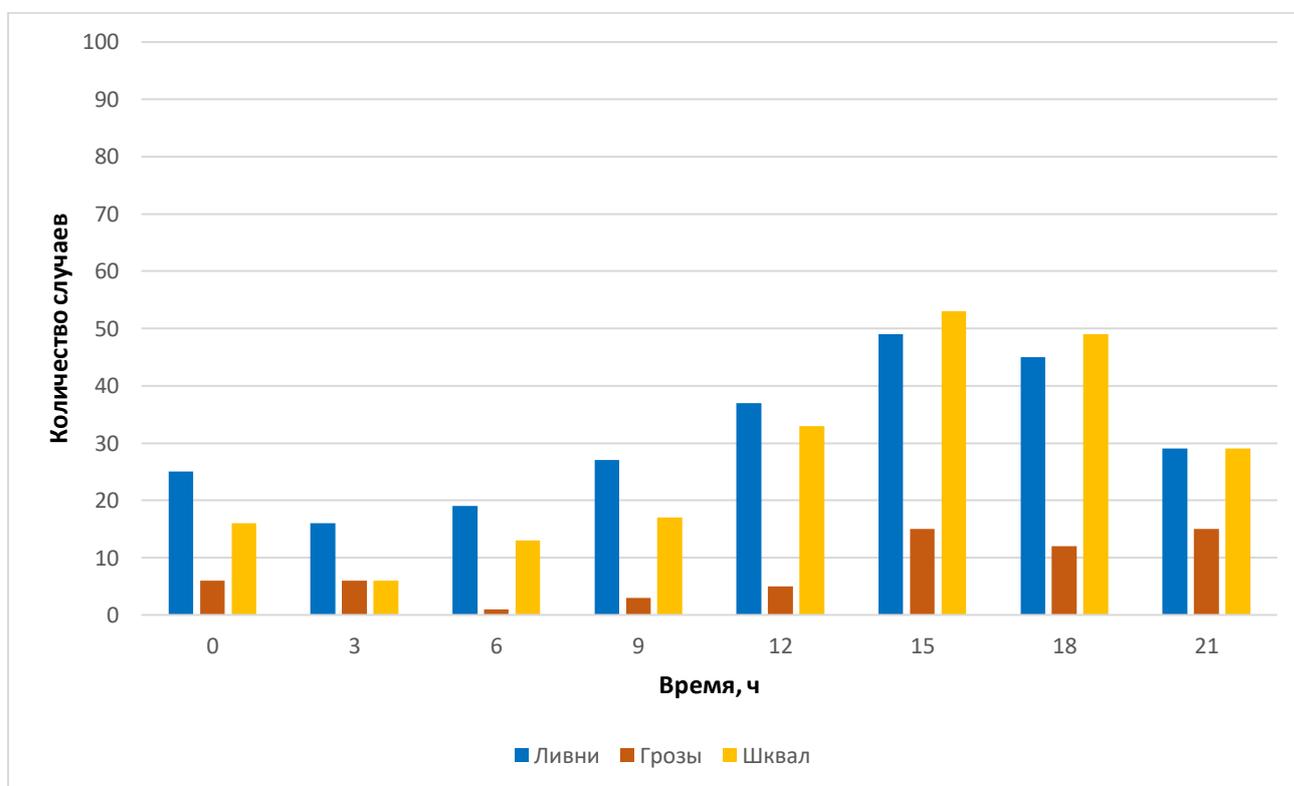


Рисунок 7 – График суточного хода явлений на метеостанции Сосново 2017-2019 гг.

На графике (рисунок 8) представлен суточный ход конвективных явлений на станции Ломоносов, где так же прослеживается зависимость их активности от времени суток. Конвективные процессы начинают развиваться после полудня: первые ливни фиксируются с 12 часов, достигая максимума между 15 и 18 часами, после чего их интенсивность постепенно снижается. Грозовая активность проявляет аналогичную динамику — начавшись в 12-15 часов, она резко усиливается к 15-18 часам (таблица 3). Такое распределение полностью соответствует классической схеме дневной конвекции, когда прогрев земной поверхности в послеполуденные часы создает оптимальные условия для развития мощных восходящих потоков, приводящих к образованию кучево-дождевых облаков и сопутствующих явлений. Большое количество шквалов, зафиксированных на станции Ломоносов, объясняется сочетанием локальных географических факторов и особенностей синоптической обстановки, характерных для прибрежных зон Финского залива.

Таблица 3 – Суточный ход явлений на метеостанции Ломоносов 2017-2019 гг.

Явление	Часы (МСК)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Часы	0	3	6	9	12	15	18	21
Ливни	25	20	23	26	33	31	41	26
Грозы	7	9	2	3	6	8	9	17
Шквал	50	40	44	36	60	72	93	76

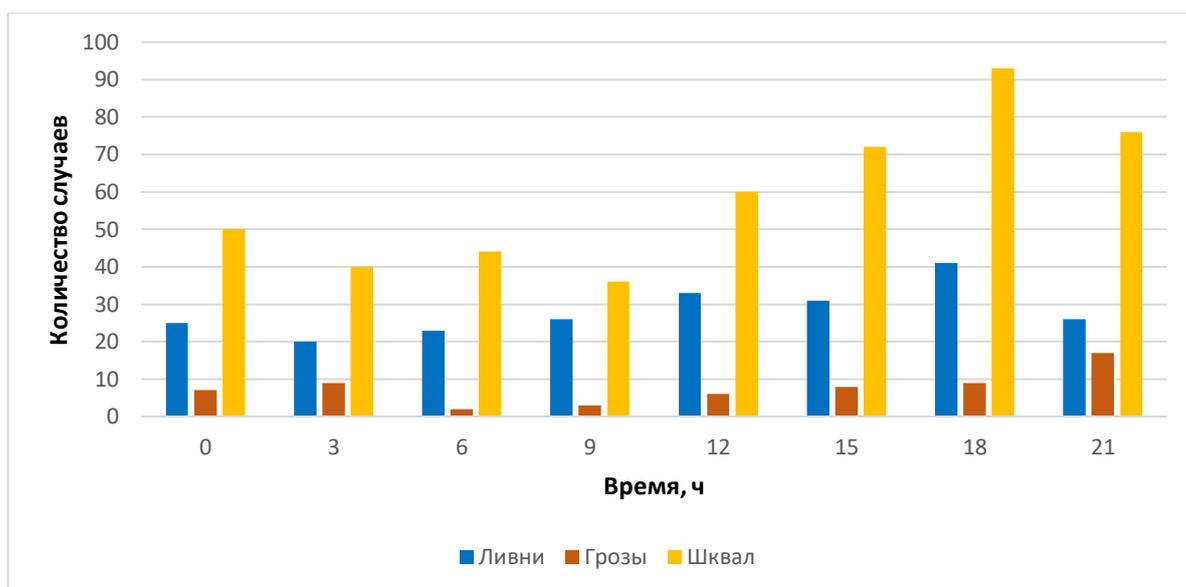


Рисунок 8 – График суточного хода явлений на метеостанции Ломоносов 2017-2019 гг.

Анализируя график (рисунок 9) можно видеть характерную динамику для суточного хода конвективных явлений. В таблице 4 можно видеть минимум явлений в сроки 0-9, и максимум в 12-18. На станции Белогорка было наименьшее количество гроз.

Таблица 4 – Суточный ход явлений на метеостанции Белогорка 2017-2019 гг.

Явление	Часы (МСК)								
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Часы	0	3	6	9	12	15	18	21	
Ливни	16	13	12	16	16	40	21	21	
Грозы	0	1	0	2	0	2	6	5	
Шквал	16	12	10	20	53	86	77	39	

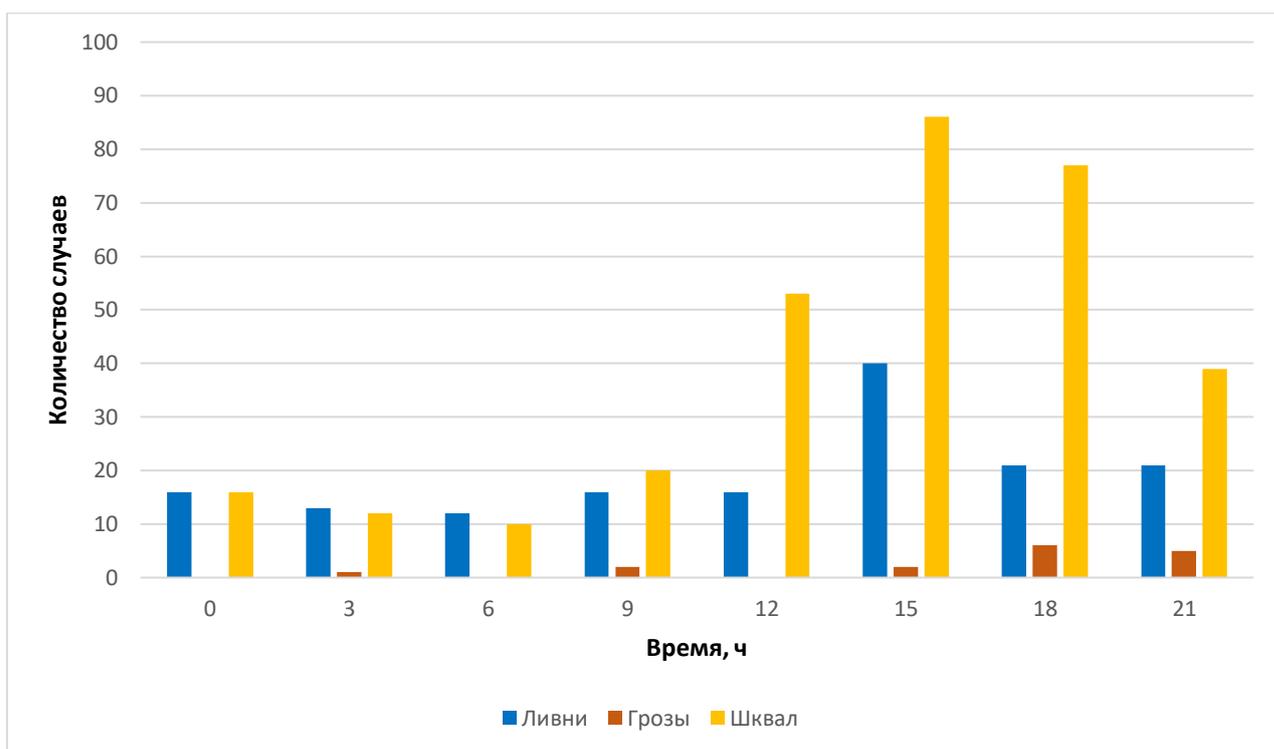


Рисунок 9 – График суточного хода явлений на метеостанции Белогорка 2017-2019 гг.

Рисунок 10 отражает суточный ход конвективных явлений (ливни, грозы, шквалы) на станции Кириши. Наибольшая активность наблюдается в дневные и вечерние часы с пиком между 12 и 18 часами (таблица 5), что характерно для термической конвекции, вызванной прогревом земной поверхности. В таблице мы можем видеть грозы в срок 0-9. Для г. Кириши, расположенного в зоне влияния промышленных предприятий, дополнительным фактором может выступать антропогенный нагрев, постоянные выбросы тепла от нефтеперерабатывающих заводов, который может поддерживать конвекцию даже в ночные часы. Однако в большинстве случаев утренние грозы связаны именно с фронтальной активностью или остаточными явлениями дневной конвекции.

Таблица 5 – Суточный ход явлений на метеостанции Кириши 2017-2019 гг.

Явление	Часы (МСК)							
	0	3	6	9	12	15	18	21
Часы	0	3	6	9	12	15	18	21
Ливни	5	9	4	6	13	23	20	7
Грозы	6	9	3	6	4	14	18	26
Шквал	10	9	5	18	53	93	79	42

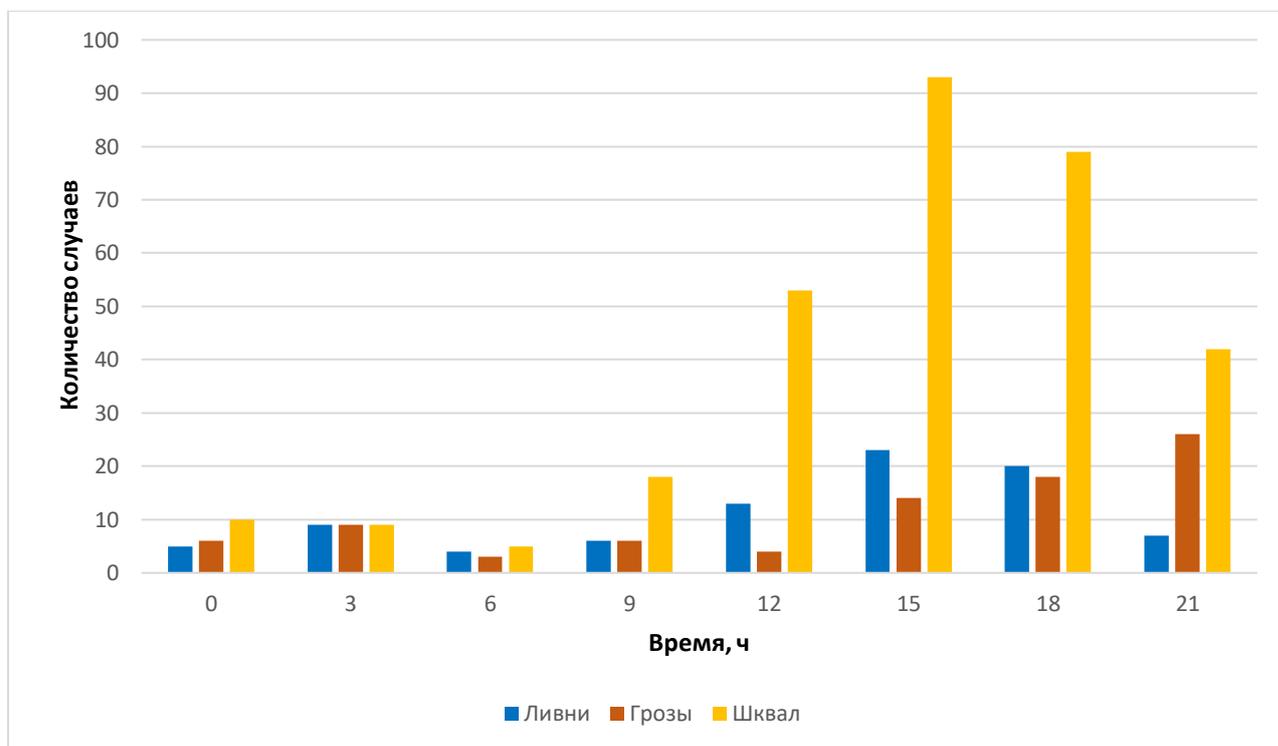


Рисунок 10 – График суточного хода явлений на метеостанции Кириши 2017-2019 гг.

Анализируя графики суточного хода явлений на метеостанциях можно сделать вывод, что наибольшая интенсивность этих атмосферных процессов отмечается во второй половине дня, когда термическая конвекция достигает

своего максимума. Особенно выделяется период с 12 до 18 часов, в течение которого регистрируется подавляющее большинство случаев ливней, гроз и шквалов. Анализ данных показывает, что абсолютный пик активности приходится примерно на 15 часов, что соответствует моменту максимального прогрева земной поверхности в течение суточного цикла.

Наибольшее количество шквалов наблюдалось на станциях Ломоносов, Белогорка и Кириши, что прежде всего связано с их расположением. Наибольшее количество ливней было зафиксировано на станции Сосново. Наименьшее количество гроз зафиксировали станции Воейково и Белогорка.

3.3 Месячная изменчивость конвективных явлений.

Самый благоприятный период для конвективных явлений всегда считался июль и начало августа. Из рисунка 11 мы можем сказать, что это утверждение актуально для станции Воейково. Большая часть ливней была в первую половину августа.

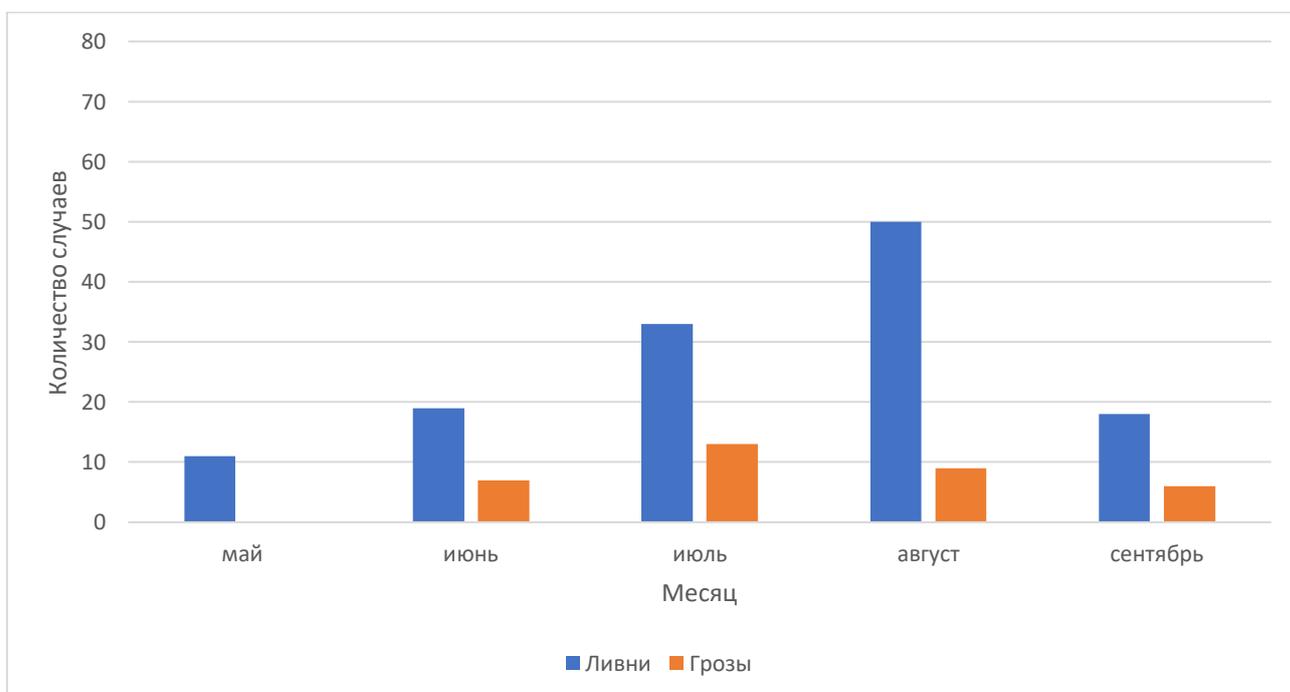


Рисунок 11 – График количества явлений в месяц на метеостанции Воейково 2017-2019 гг.

На рисунке 12 изображено количество явлений в месяц на метеостанции Сосново. На этой станции было самое большое число ливней, относительно других. Так же в августе на станции Сосново наблюдалось самое большое количество теплых дней, что с высокой влажностью дает самый большой показатель количества гроз за этот месяц.

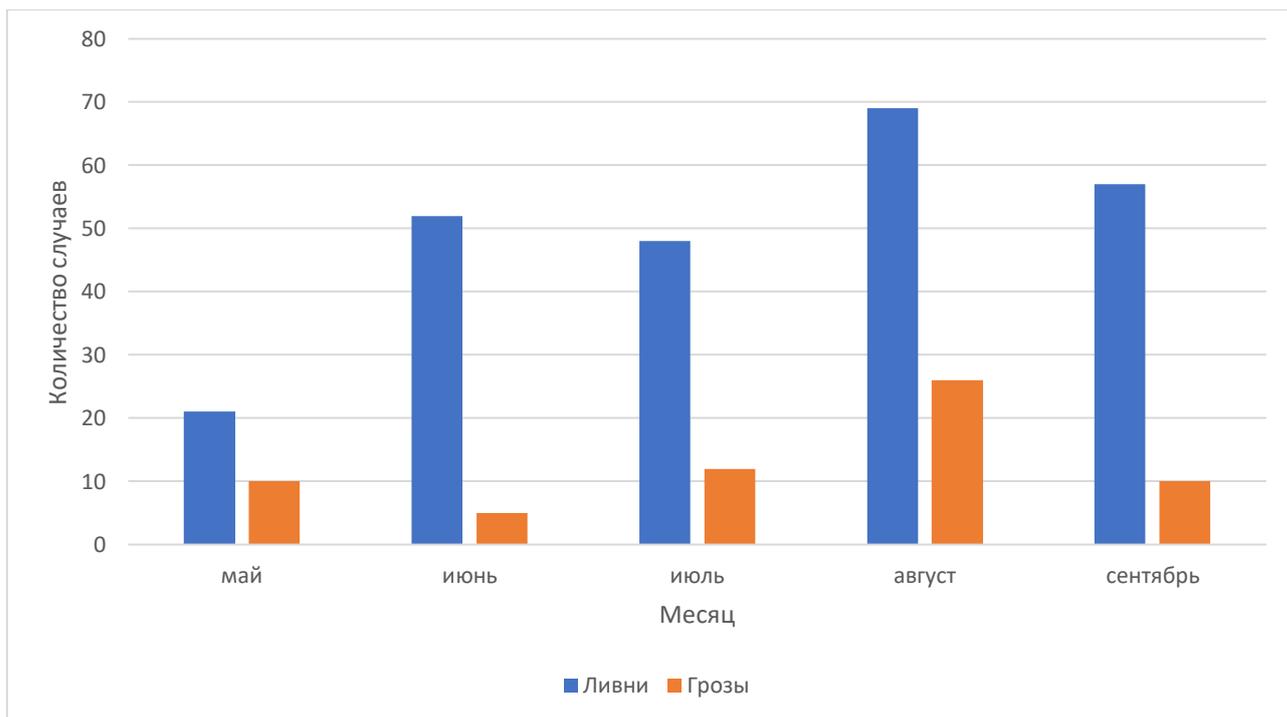


Рисунок 12 – График количества явлений в месяц на метеостанции Сосново 2017-2019 гг.

На метеостанции Ломоносов (рисунок 13) количество ливней высокое в любой месяц, что связано с близостью к Финскому заливу. Большая часть случаев ливневых осадков и гроз сопровождалось шквалом.

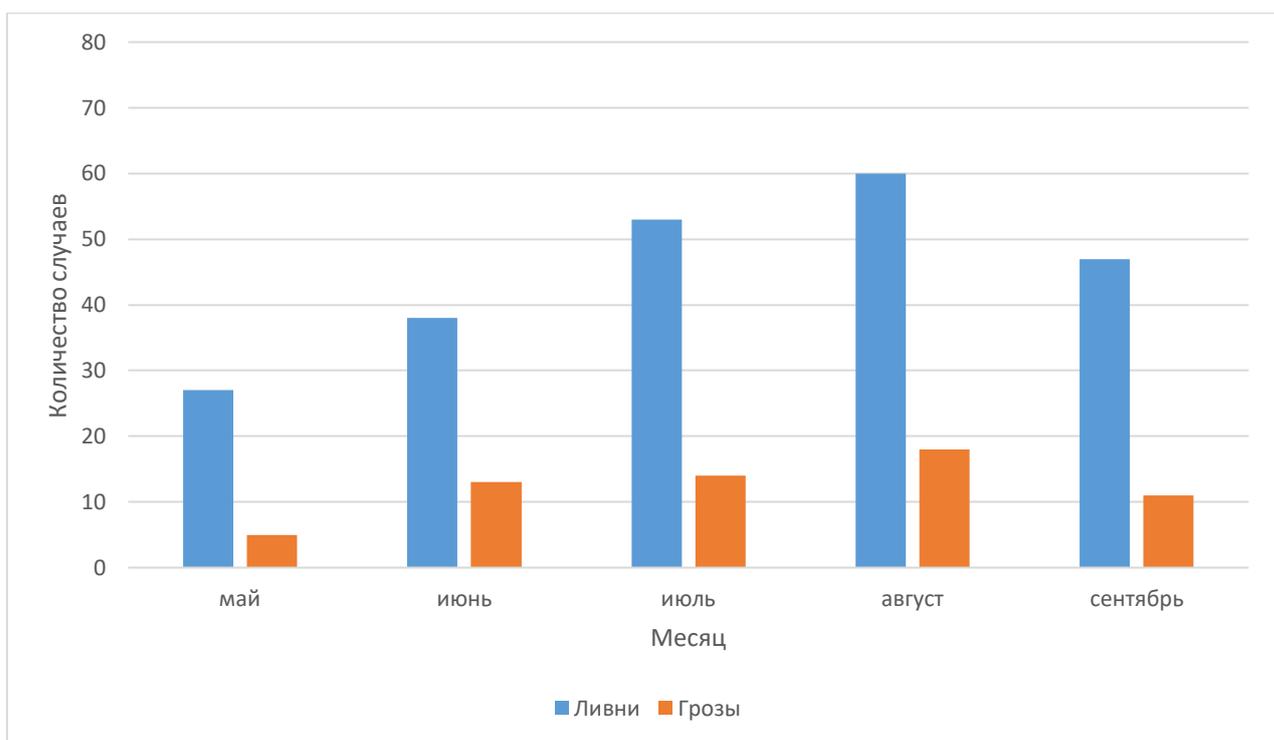


Рисунок 13 – График количества явлений в месяц на метеостанции Ломоносов 2017-2019 гг.

На станции Белогорка менее выраженная конвекция из-за отдаленности от Финского залива и Ладожского озера. Однако у этой станции есть особенности рельефа, из-за которых возникает вертикальное перемешивание воздушных масс. Из рисунка 14 можно сказать, что ливневых осадков на станции Белогорка было больше всего в июле и сентябре.

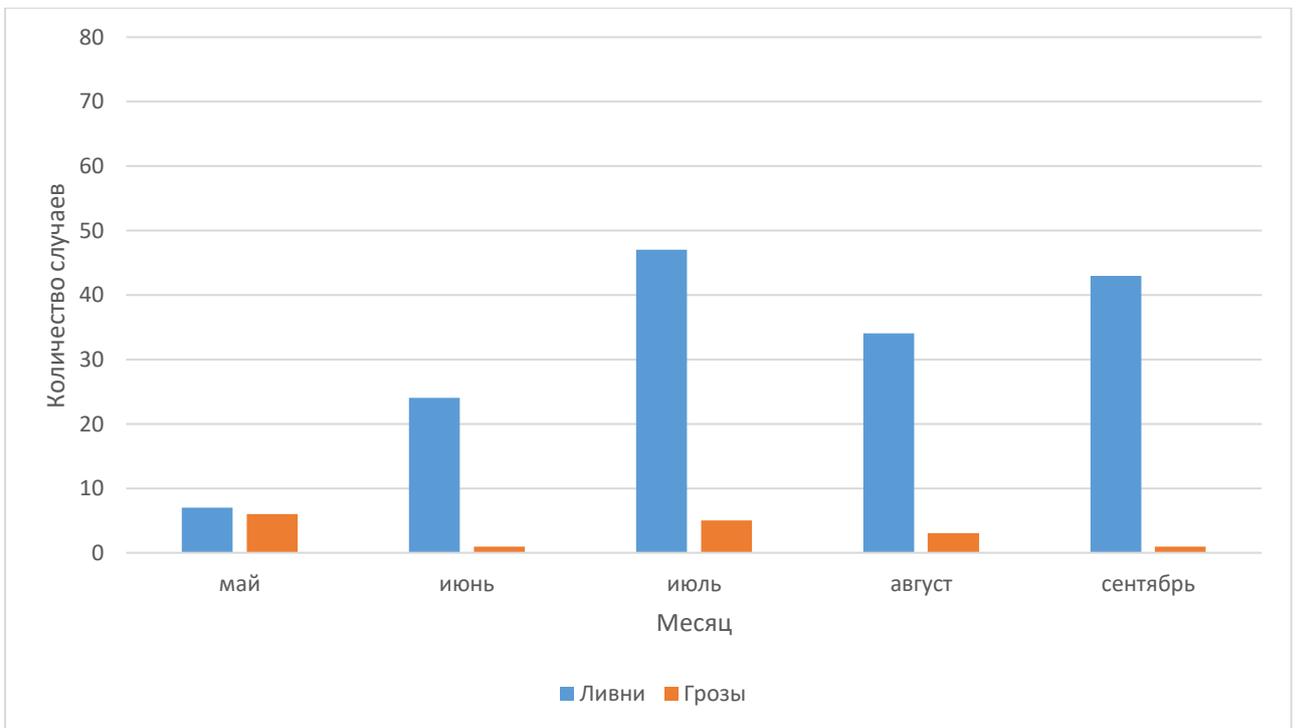


Рисунок 14 – График количества явлений в месяц на метеостанции Белогорка 2017-2019 гг.

На метеостанции Кириши (рисунок 15) количество ливней оказалось самым низким, однако общая тенденция с ростом количества случаев в июле и августе - сохраняется.

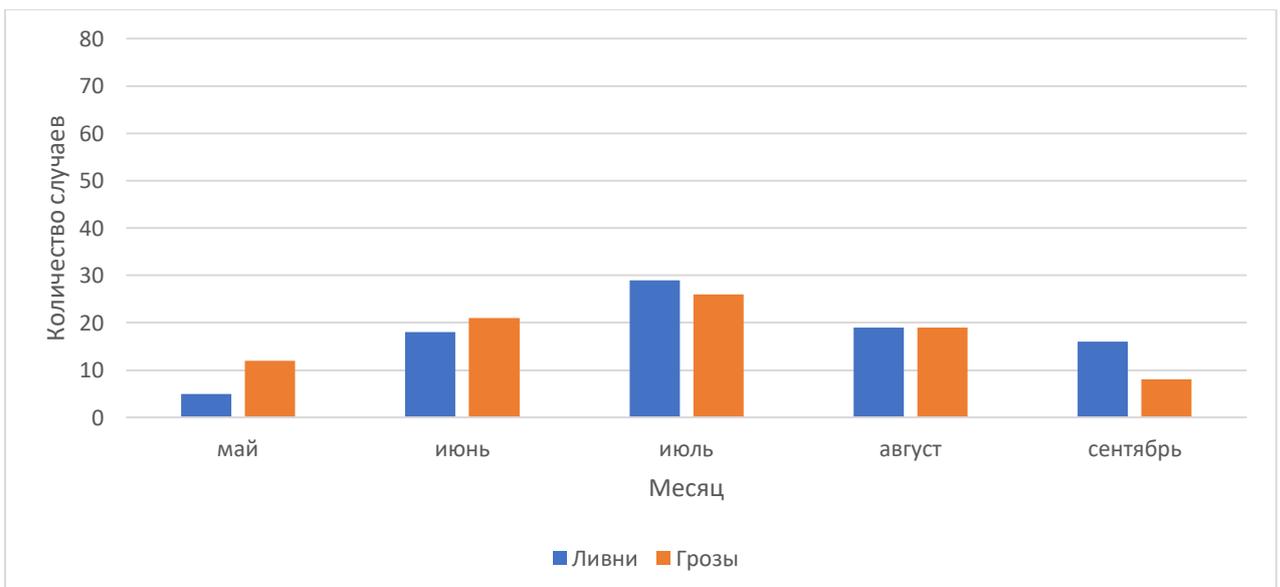


Рисунок 15 – График количества явлений в месяц на метеостанции Кириши 2017-2019 гг.

Графики показывают, что конвективные явления наиболее активны в середине лета, с вариациями в зависимости от местоположения метеостанции. Ломоносов и Сосново выделяются более высокой активностью, в то время как Кириши демонстрирует наименьшее количество случаев.

Метеостанция Кириши находится восточнее других станций, вдали от Финского залива и Балтийского моря. Морские воздушные массы, которые активно питают конвективные процессы в прибрежных районах, сюда поступают уже значительно ослабленными. С залива приходят более холодные воздушные массы на прогретую земную поверхность и развивается интенсивная конвекция, чем дальше данная воздушная масса продвигается от залива на материковую часть, тем менее выражена ее неустойчивость, так как частично она уже реализована в прибрежных регионах. В таких условиях формируется меньше термических восходящих потоков - ключевого механизма для развития грозовой активности. Так же стоит учитывать о наличии крупного нефтеперерабатывающего комплекса, который приводит к выбросам аэрозолей в атмосферу. Эти частицы могут изменять микрофизические процессы в облаках, способствуя образованию большего количества мелких капель, которые не всегда достигают размеров, необходимых для выпадения интенсивных осадков.

Из таблицы 6 и рисунка 15 можно видеть, чем обусловлены грозы в период май-сентябрь 2017-2019 гг.

Таблица 6 – Количество гроз на метеостанциях за 2017-2019 годы.

	Внутрим.	Холодный Ф	Теплый Ф	Ф Окклюзии	Всего случаев
Воейково	18	11	4	2	35
Сосново	15	21	7	20	63
Ломоносов	30	21	6	4	61
Белогорка	3	5	3	7	16
Кириши	26	16	35	9	86

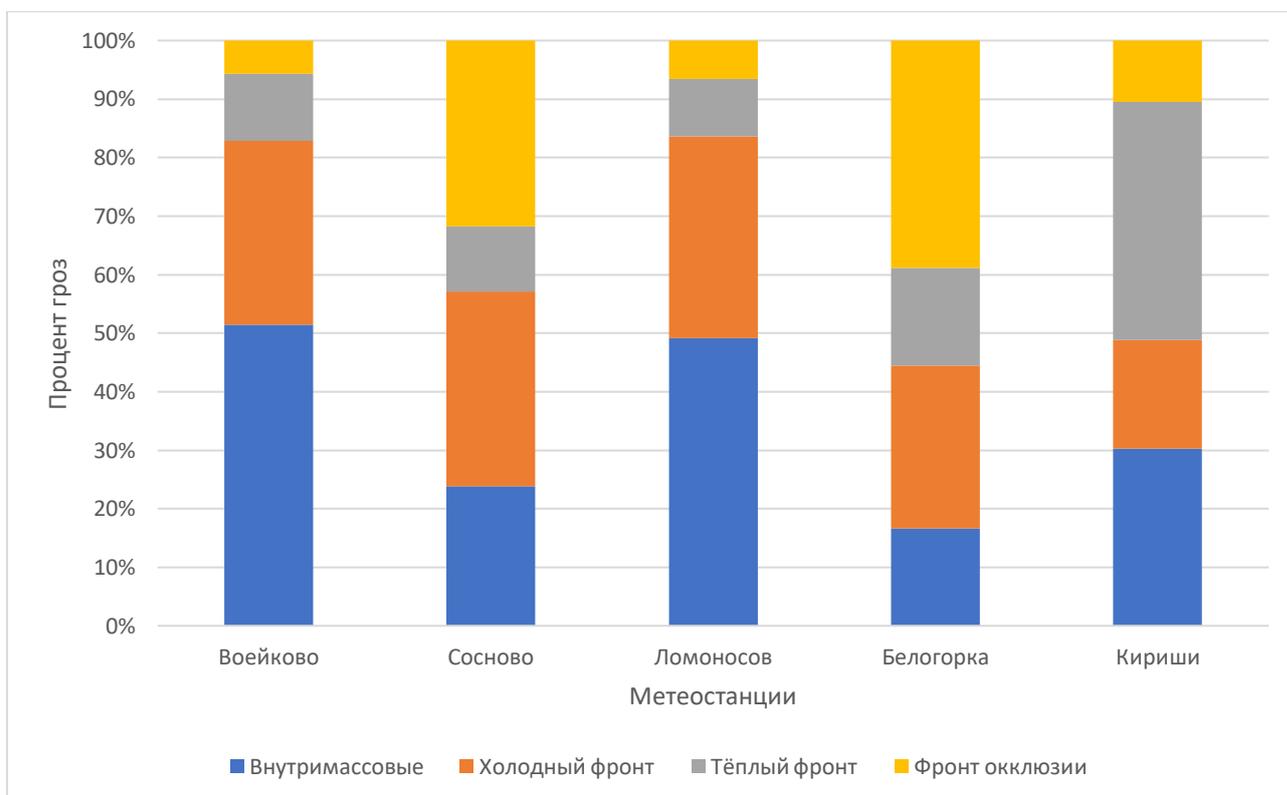


Рисунок 16 – График гроз на метеостанциях 2017-2019 гг.

Из рисунка 15 можно сделать вывод, что внутримассовые грозы были преобладающими на станциях Воейково и Ломоносов. Меньше всего было гроз, обусловленных теплым фронтом, однако на станции Кириши таких было 40%. Станции Сосново и Белогорка выделяются самым большим количеством гроз, обусловленных фронтом окклюзии, 30 и 45% соответственно.

3.4 Синоптические ситуации, характерные для возникновения конвективных явлений.

1. Обзор синоптической ситуации за 09.07.2019 (фронт окклюзии).

- Воейково 09.07.2019 (срок 15) – гроза.
- Кириши 08.07.2019 (срок 18-21) – гроза.
- Гатчина 08.07.2019 (срок 18-00) – гроза, ливень, шквал.
- Ломоносов 09.07.2019 (срок 15) – гроза, ливень, шквал.

Над Ленинградской областью, в частности над метеостанциями Воейково, Ломоносов, Белогорка и Кириши, располагался циклон в максимальной стадии развития, давление в центре 998 гПа. Данные станции находились под влиянием фронта окклюзии. Циклон смещался на восток с Прибалтики. На станциях отмечались такие конвективные явления как шквалы, грозы, ливни и сдвиги ветра. Эти процессы связаны с усиленной конвекцией из-за ранее повышенной температуры на юге области. На станции Сосново влияние фронта не отмечалось, вероятнее всего из-за своего более северного расположения. На рисунках 17 и 18 можно более подробно наблюдать синоптическую ситуацию.

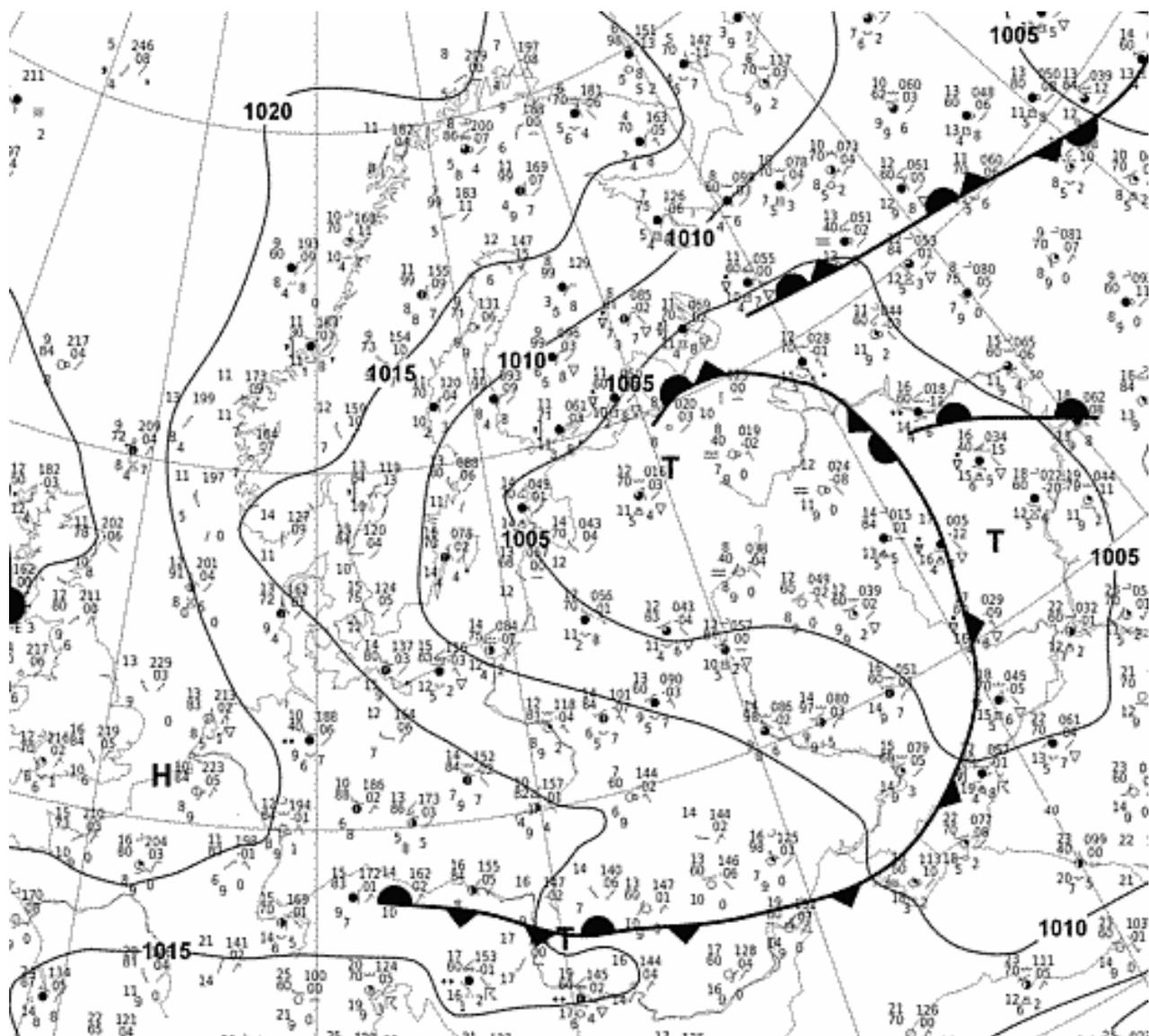


Рисунок 17 – Синоптическая ситуация за 09.07.2019 00 UTC.

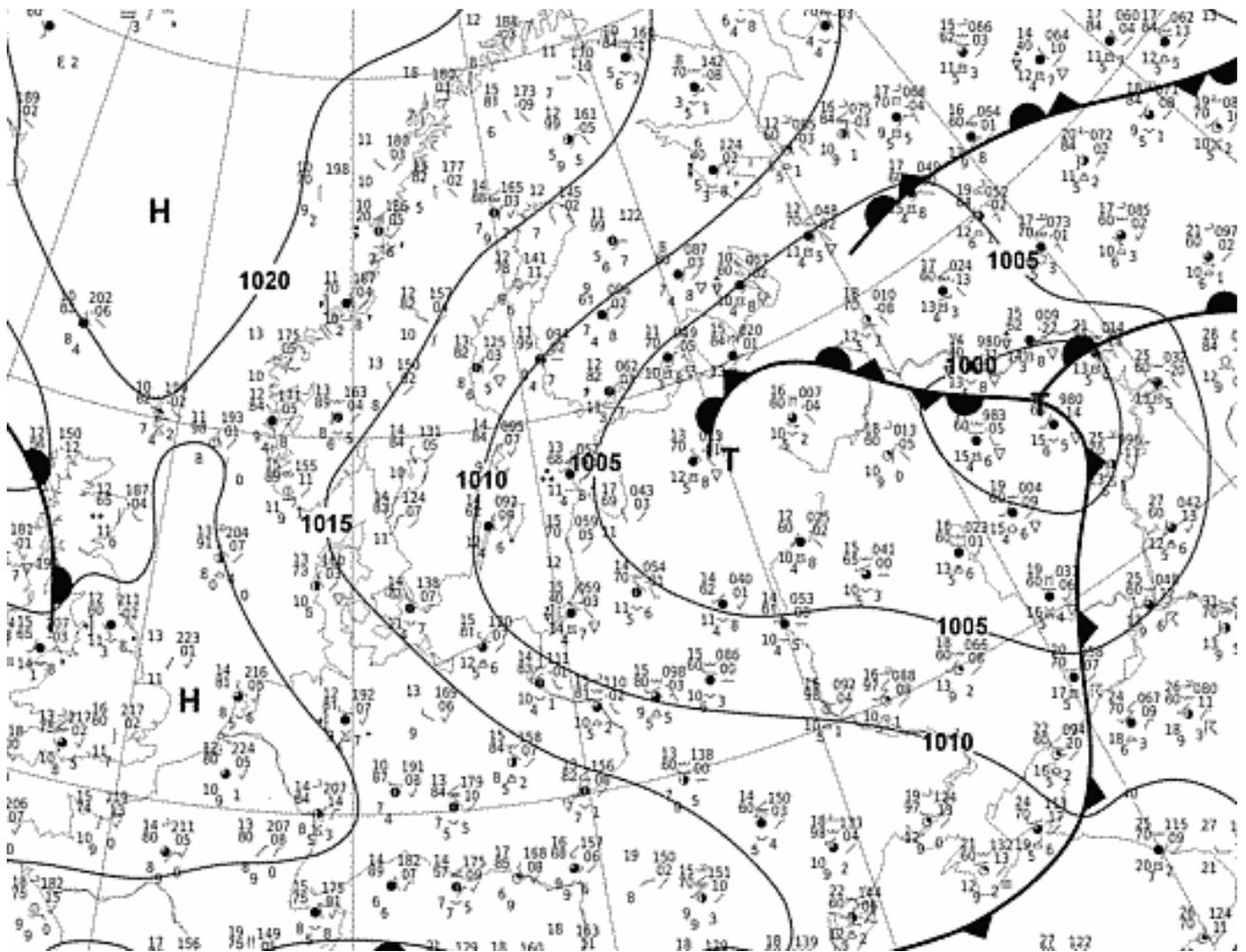


Рисунок 18 – Синоптическая ситуация за 09.07.2019 06 UTC.

2. Обзор синоптической ситуации за 14.07.2019 (внутримассовые грозы).

- Кириши 14.07.2019 (срок 00) - гроза, ливень, шквал.
- Ломоносов 15.07.2019 (срок 12-15) - гроза.

На станциях Кириши и Ломоносов отмечались грозы и кратковременные дожди. Погода определялась периферией антициклона. В этот день над территориями господствовала тёплая воздушная масса с повышенными значениями влажности, что усиливало локальную конвекции (рисунок 18). Всё это способствовало развитию кучево-дождевых облаков и появлению локальных гроз и кратковременных ливней во второй половине дня.

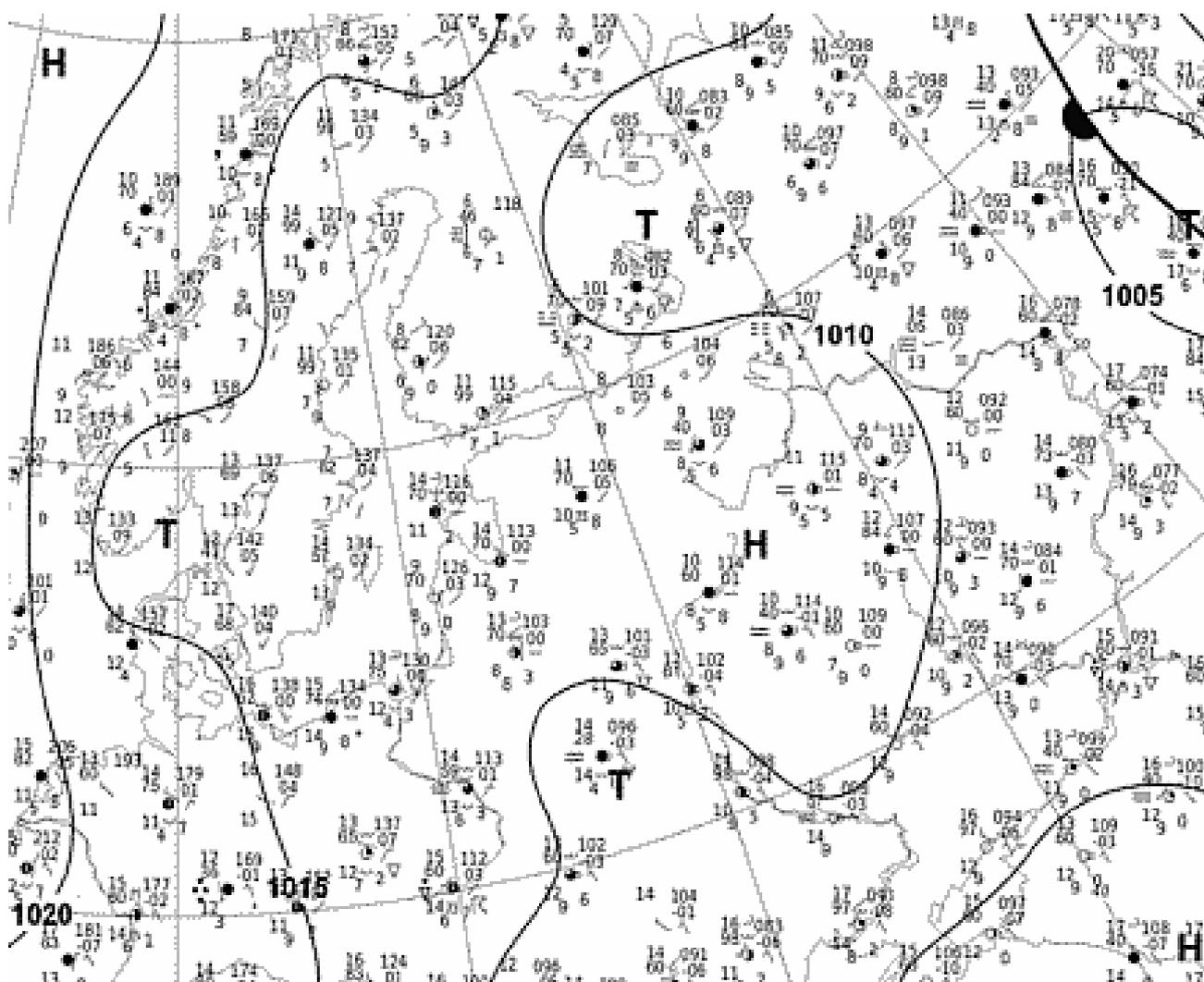


Рисунок 18 – Синоптическая ситуация за 14.07.2019 00 UTC.

3. Обзор синоптической ситуации за 21.06.2019 (холодный фронт).

- Воейково 21.06.2019 (срок 18-00) - гроза.
- Ломоносов 21.06.2019 (срок 18-00) - гроза.

На станциях Ломоносов и Воейково отмечались такие конвективные явления как грозы. В то время как на соседних станциях отмечались ливни и шквалы. Погода данной области определялась прохождением циклона, а именно холодным фронтом (рисунок 19). Циклон смещался на северо-восток. Находился в стадии максимального развития. Окклюдирован.

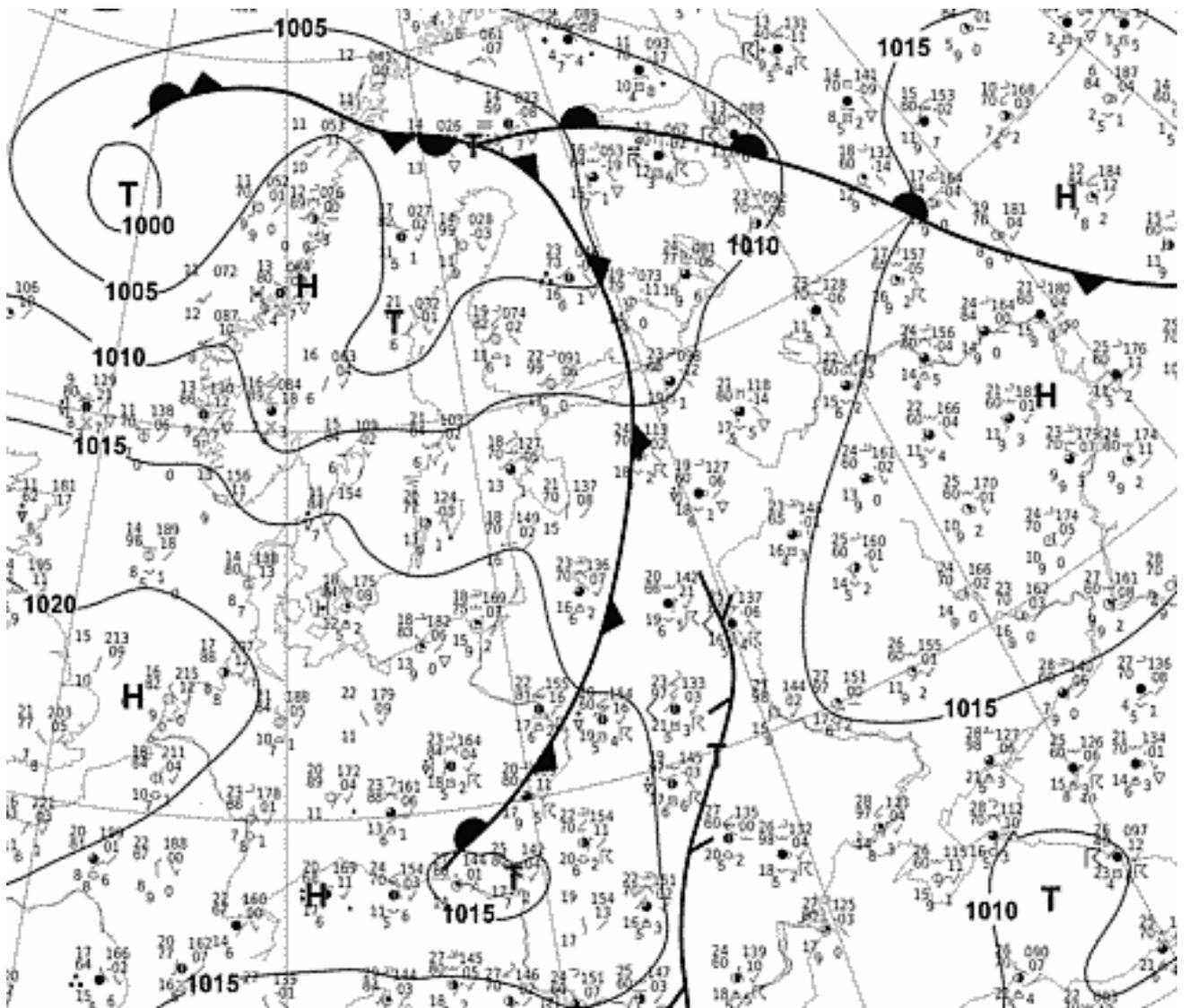


Рисунок 19 – Синоптическая ситуация за 21.06.2019 12 UTC.

4. Обзор синоптической ситуации 04.08.2018 (холодный фронт).

- Сосново 03.08.2018 (срок 15-21) - гроза, ливень.
- Кириши 03-04.08.2018 (срок 15-03) - гроза.

4 августа 2018 года погода над Ленинградской областью располагался циклон. Давление в центре составляло около 1000 гПа. Циклон смещался с северо-запада на восток. Находился в стадии максимального развития, создавая условия для конвекции. Окклюдирован (рисунок 20). На южной станции Кириши были зафиксированы только грозы, а в Гатчине только шквалы, тем самым влияние оказывал холодный фронт. При этом на метеостанции Сосново

отмечались 3 рассматриваемых конвективных явления- грозы, ливни и шквалы, что указывало на нахождение рядом окклюзии.

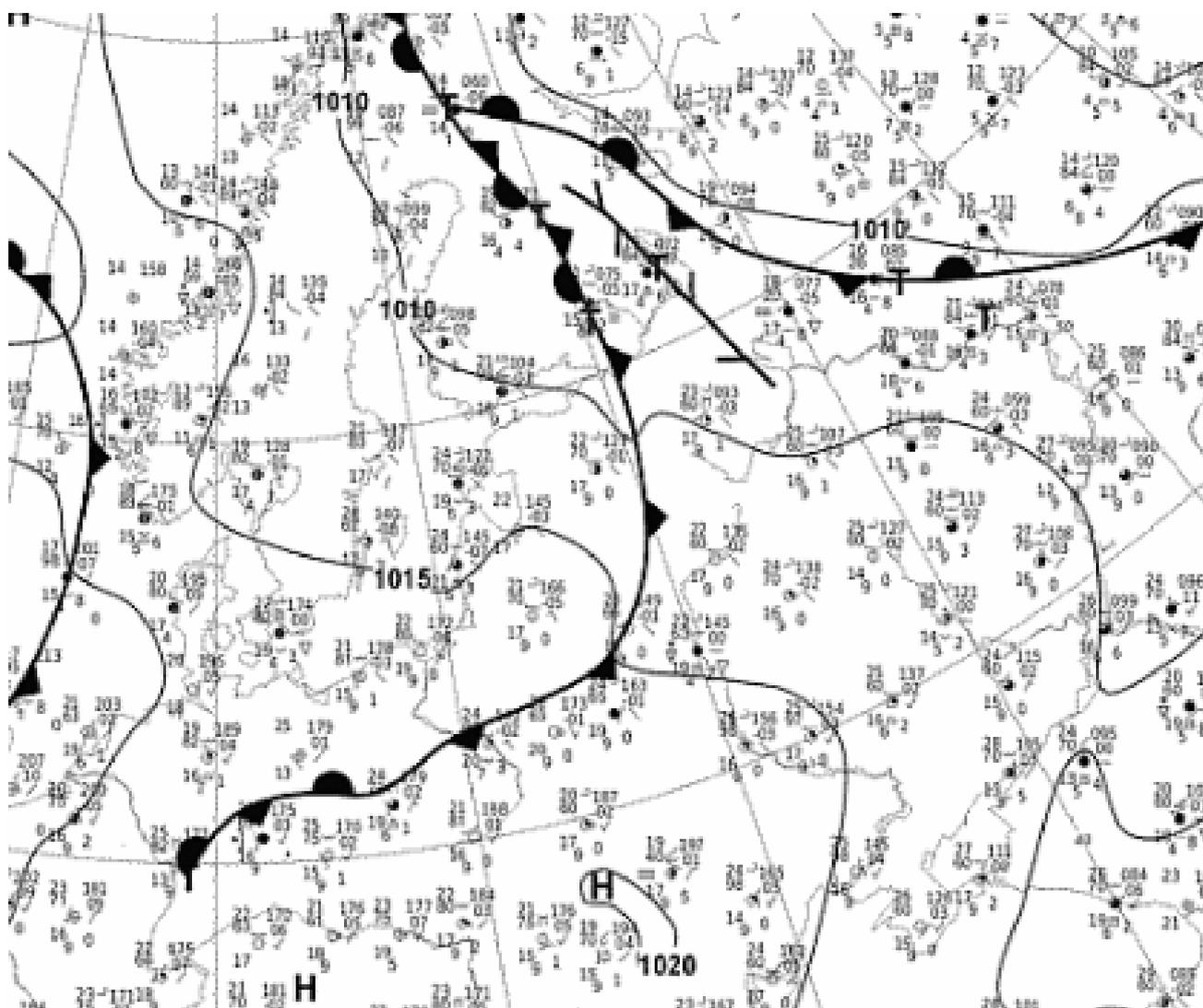


Рисунок 20 – Синоптическая ситуация за 04.08.2018 06 UTC.

5. Обзор синоптической ситуации 14.07.2018 (внутримассовые грозы).

- Кириши 14.07.2018 (срок 15) – гроза.
- Воейково 14.07.2018 (срок 15) – гроза.

На станциях Кириши и Воейково была зафиксирована гроза. Данное конвективное явление связано с сильным прогревом подстилающей поверхности, максимальная зафиксированная температура на станции Кириши составляла 27°C, на станции Воейково 28°C, с чем связано испарение с Финского залива, а соответственно и усиленное развитие конвекции, в

частности развитие кучево-дождевых облаков. Данную конвекцию можно отнести к термической внутримассовой (рисунок 21).

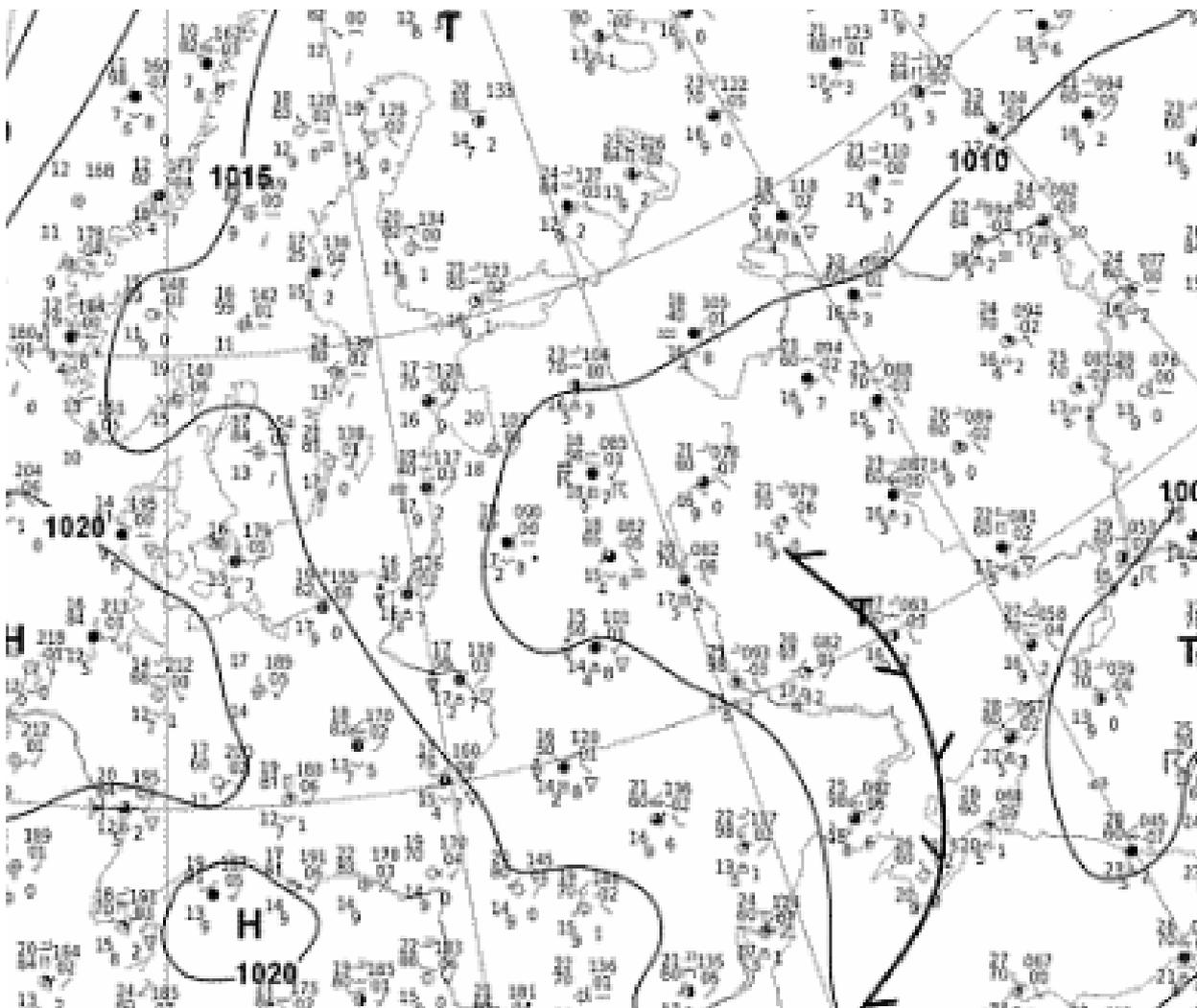


Рисунок 21 – Синоптическая ситуация за 14.07.2018 06 UTC.

6. Обзор синоптической ситуации 02.07.2019 (внутримассовые грозы)

- Кириши 03.07.2019 (срок 15-18) - гроза, ливень.
- Кириши 02.07.2019 (срок 15) – гроза, шквал.
- Воейково 02.07.2019 (срок 15) – гроза, шквал.
- Сосново 02.07.2019 год (срок 15-21) – гроза, ливень, шквал.

На станциях Кириши, Воейково и Сосново отмечались все рассматриваемые конвективные явления- шквалы, ливни и грозы (рисунок 22).

Погода в данной области определялась уже окклюдиврованным смещавшимся на северо-восток циклоном. Давление в центре циклона составляло 993 гПа. Циклон смещался с северо-запада. Наибольшее влияние циклон оказывал на центральные и восточные районы Ленинградской области.

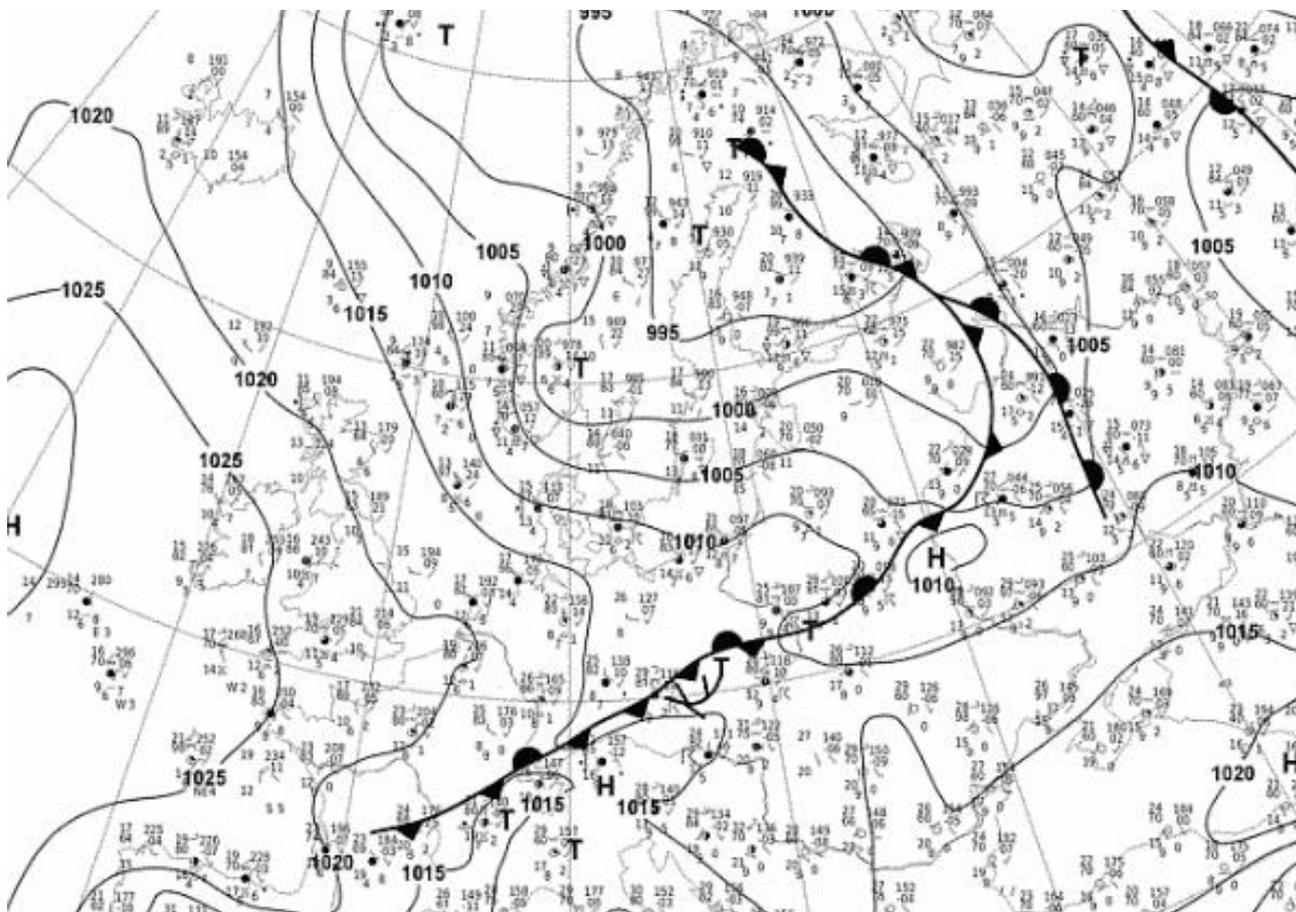


Рисунок 22 – Синопогическая ситуация за 02.07.2019 12 UTC

4. Заключение.

В данной выпускной квалификационной работе проведено исследование конвективных явлений в Ленинградской области, включая ливневые осадки, грозы и шквалистый ветер. Эти процессы представляют значительную опасность из-за своей внезапности, интенсивности и локального характера, что усложняет их прогнозирование. Актуальность работы обусловлена усилением конвективной активности в регионе, вероятно связанным с глобальными климатическими изменениями, а также необходимостью минимизации рисков для экономики и инфраструктуры.

В ходе исследования проанализированы архивные данные метеостанций Ленинградской области, выявлены особенности пространственно-временного распределения конвективных явлений и рассмотрены синоптические условия их формирования. Установлено, что развитие конвекции в регионе существенно зависит от взаимодействия морских и континентальных воздушных масс, рельефа местности и термической неустойчивости атмосферы.

Результаты работы позволяют углубить понимание механизмов возникновения конвективных процессов в Ленинградской области, что важно для совершенствования методов их прогнозирования. Полученные данные могут быть использованы в климатическом моделировании, сельском хозяйстве, градостроительстве и других сферах, требующих учета опасных метеорологических явлений.

На всех станциях отчетливо прослеживается пик конвективной активности в послеполуденные часы (12–18), что полностью соответствует теории термической конвекции. В это время максимальный прогрев подстилающей поверхности приводит к интенсивному подъему нагретых воздушных масс, формированию неустойчивой стратификации атмосферы и, как следствие, развитию кучево-дождевой облачности с сопутствующими явлениями – ливнями, грозами и шквалами. Ночью и ранним утром (00–06) конвекция ослабевает из-за радиационного выхолаживания и стабилизации атмосферы, что также согласуется с общепринятыми метеорологическими представлениями. Анализ синоптических ситуаций за период конец июня – начало августа позволяет сделать вывод, что большая часть гроз была зафиксирована на станциях Воейково и Кириши. Графики количества явлений (см. рис 11-15) в месяц на метеостанциях показали, что самое большое количество по суммарным значениям за 2017-2019 гг было в августе на станции Сосново и в июле на станции Кириши.

Так же можно отметить, что на станции Воейково и Ломоносов чаще всего были именно внутримассовые грозы. За 3 года в период май-сентябрь самое большое количество гроз было зафиксировано на станции Кириши. Это

связано с особенностями рельефа и растительностью, благодаря которым формируются местные восходящие потоки.

Прибрежные станции (Ломоносов) демонстрируют менее выраженный суточный ход и меньшую амплитуду конвекции, что объясняется влиянием Финского залива – водная поверхность уменьшает температурные контрасты, снижая скорость прогрева/охлаждения. Внутриконтинентальные станции (Кириши, Белогорка) отличаются более резким ростом конвективной активности днем, что характерно для территорий с континентальным влиянием, где суточные колебания температуры значительнее. Станции в лесных массивах (Сосново) могут показывать запаздывание пика явлений на 1–2 часа из-за более медленного прогрева подстилающей поверхности (лесной покров уменьшает альбедо и замедляет теплообмен).

Список используемой литературы.

1. Канухина А. Исследование возможности прогнозирования конвективных явлений по показателям, рассчитанным на основе результатов численной мезомасштабной модели // Ученые записки РГГМУ: Статьи. Т. 2. – СПб.: РГГМУ, 2006. – С.46-54
2. Шметер С.М. Физика конвективных облаков. – Ленинград, 1972. – 232 с.
3. Подгорски Д. и Влчак Л. Вопросы эффективности гидрометеорологических исследований в целях интенсификации народного хозяйства. Адвективно-конвективная тенденция поля облачности по спутниковым данным. – Ленинград, 1987. - с. 172.
4. Головина Е.Г., Абанников В.Н., Аед Мханна И.Н., Подгайский Э.В. УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «Основы термодинамики атмосферы» по дисциплине «Физика атмосферы». – СПб, 2022. – 62 с.
5. Назаренко А.В. Опасные явления погоды конвективного происхождения. - Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – 62 с.
6. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – СПб, изд. РГГМУ, 2005. - 328 с
7. Абанников В.Н., Аед Мханна И.Н., Канухина А.Ю., Ступишина О.М. Учебно-методическое пособие «Лабораторный практикум по физике атмосферы». СПб.: изд-во «Ниц Арт», 2023. – 78 с.
8. File: Orage ordinaire.PNG [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://en.wikipedia.org/wiki/File:Orage_ordinaire.PNG (дата обращения 15.03.2025)
9. Tempestade multiceular [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://pt.wikipedia.org/wiki/Tempestade_multiceular (дата обращения 15.03.2025)
10. Карты движения грозовых облаков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://igrosam.ru/karta/dvijeniya/grozoviyx/oblakov.html> (дата обращения 15.03.2025)