



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Прогнозирование гроз на территории Рязанской области»

Исполнитель Бормотова Анастасия Павловна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Топтунова Ольга Николаевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«02» июня 2022г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ФАКТОРЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ГРОЗ	5
1.1. Формирование грозовых облаков.....	5
1.2. Типизация гроз	6
2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ГРОЗ.....	9
2.1. Грозы в прогнозах погоды общего и специального назначения.....	9
2.2. Основные методы прогноза гроз	10
2.3. Индексы конвективной неустойчивости.....	12
3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРОЗ НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ	20
3.1. Физико-географическое положение Рязанской области.....	20
3.2. Основные климатические характеристики Рязанской области.....	20
3.3. Выбор станций для проведения исследований	21
3.4. Систематизация и анализ исходных данных.....	22
3.5. Годовой ход гроз	22
3.6. Непрерывная продолжительность гроз.....	27
3.7. Сопутствующие явления	29
3.8. Типовые синоптические ситуации при грозах.....	35
3.9. Прогнозирование гроз по индексам конвективной неустойчивости.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
Список использованных источников	53
Приложение А: исходные данные.....	54

Сокращения

МС – метеорологическая станция;

АЭ – аэрологическая станция;

АМСГ – авиационная метеорологическая станция;

УГМС - Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;

ЦГМС – Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

Гроза – это атмосферное явление, в связи с которым в облаках появляются многократные электрические разряды в виде молний, влекущих за собой гром.

Информация о грозе, а также об опасных явлениях, которыми она сопровождается, а также об их прогнозе в настоящее время является востребованной во многих отраслях деятельности человека.

Опасность представляют электрические разряды (молнии), поражающие высокие предметы на поверхности земли; шквалы, ломающие деревья, нарушающие работу линий электропередач, разрушающие плохозакрепленные конструкции на земле; и град, который может нанести ущерб не только материальным предметам и народному хозяйству, но и здоровью человека.

Для авиации грозы являются одним из наиболее опасных явлением погоды. Опасность обусловлена интенсивной турбулентностью в облаках, способной вызвать сильную болтанку; возможностью поражения самолета молниями и интенсивными ливневыми осадками, приводящими к снижению дальности видимости.

Поэтому своевременное предупреждение о грозе и сопутствующих ей опасных явлениях, поможет предотвратить и минимизировать экономические потери.

Поэтому очень важно развивать точность прогнозирования гроз и увеличивать заблаговременность предупреждений об опасных явлениях.

К формированию гроз приводят ряд факторов синоптического характера, особенности вертикального профиля метеорологических элементов, а также характерные условия местности, где развитие грозовой деятельности может усиливаться или, наоборот, тормозиться.

В данной работе рассматриваются синоптические ситуации, приводящие к возникновению гроз на территории Рязанской области и оценивается успешность прогнозирования гроз по индексам конвективной неустойчивости.

Цель работы: оценить возможность прогнозирования гроз по индексам конвективной неустойчивости на территории Рязанской области.

Задачи для выполнения поставленной цели:

- подготовить исходный материал для систематизации и анализа;
- определить основные характеристики наблюдавшихся гроз;
- определить синоптические ситуации при грозах;
- выявить наиболее успешные индексы конвективной неустойчивости для территории Рязанской области.

Для решения поставленных задач использовались различные литературные источники. Кроме этого были использованы данные наблюдательной сети Рязанского ЦГМС – филиала ФГБУ «Центральное УГМС» за 2017-2021 гг., архив синоптических приземных карт и данных дистанционного зондирования атмосферы на станции АЭ Рязань.

Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников, приложения А (рабочие таблицы).

В первом разделе рассматриваются основные факторы, приводящие к возникновению гроз, приводится их типизация.

Второй раздел посвящён описанию основных методов прогноза гроз, а также способов доведения информации о грозах до потребителей.

Третий раздел включает в себя краткое описание физико-географических и климатических особенностей региона исследования, результаты систематизации и анализа исходных данных, а также основные выводы, полученные в ходе работы.

1. ФАКТОРЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ГРОЗ

1.1. Формирование грозовых облаков

Кучевообразные, или конвективные, облака имеют вид изолированных облачных масс. Эти облака сильно развиты по вертикали и, как правило, небольшую горизонтальную протяженность. Основными процессами, приводящими к образованию кучевообразных облаков, являются термическая конвекция и турбулентный обмен [1].

Конвекция возникает в результате перегрева отдельных масс воздуха при неустойчивой в нижних слоях стратификации. Благоприятные условия для возникновения конвективных движений создаются над поверхностью суши в теплую половину года – днем. Под влиянием притока прямой солнечной радиации вблизи земной поверхности возникает неустойчивая стратификация. Отдельные перегретые массы воздуха при таких условиях начинают ускоренно перемещаться по вертикали вверх. Пока они не достигли состояния насыщения, то есть при относительной влажности воздуха f менее 100%, движение таких масс воздуха происходит по сухой адиабате. На уровне конденсации $Z_{\text{конд}}$, то есть при достижении относительной влажности 100%, воздух достигает состояния насыщения [1].

При наличии активных и достаточно крупных ядер конденсации состояние насыщения достигается несколько ниже уровня конденсации $Z_{\text{конд}}$. После прохождения уровня конденсации $Z_{\text{конд}}$, продолжая свое движение вверх по вертикали, отдельные массы воздуха начинают двигаться уже по влажной адиабате. Благодаря понижению температуры воздуха с высотой происходит конденсация водяного пара и, как следствие, образование облачности [1].

Выделяют три стадии развития грозовых облаков (Рисунок 1.1.1)

1 стадия - начальное развитие, представленное кучевыми и мощно – кучевыми облаками;

2 стадия – максимального развития, представлена кучево – дождевыми облаками с вертикальным развитием 9 – 12 километров и выше, из которых выпадают осадки в виде града и ливней;

3 стадия – разрушения, размывание кучево – дождевых облаков начинается снизу, преобладают нисходящие потоки [2].

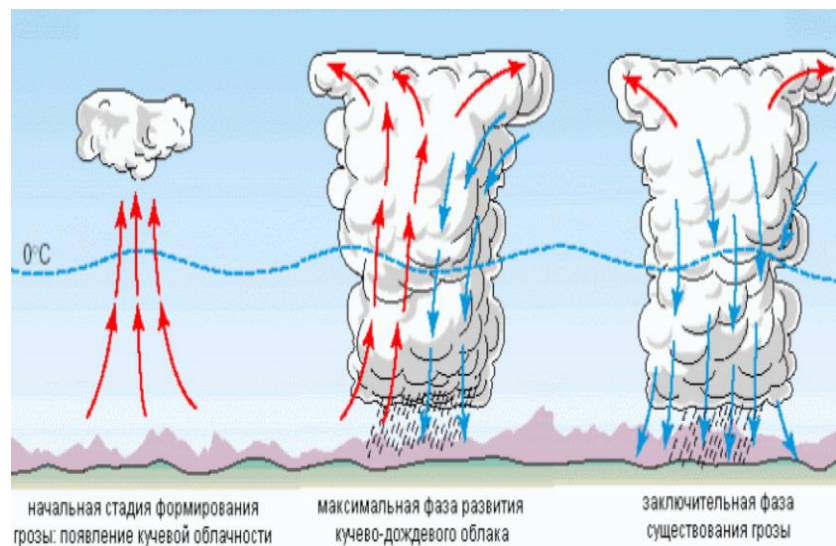


Рисунок 1.1.1 - Стадии развития грозового облака

Длительность каждой стадии сильно варьируется в зависимости от каждого конкретного случая. Но в среднем начальная стадия продолжается около 10-15 минут, стадия зрелости длится около 15-30 минут. Длительность последней стадии распада также составляет около 30 минут [1].

1.2. Типизация гроз

Грозы подразделяются на внутримассовые и фронтальные.

Внутримассовые грозы – кратковременные, возникают в основном 15-19 часов, имеют очаговый характер. Перемещаются со скоростью 5 – 25 км/час в направлении ведущего потока на высотах 3 – 5 км [2].

Внутримассовые грозы, в свою очередь, подразделяют на *конвективные*, *адвективные* и *орографические*.

Конвективные грозы возникают при сильном прогреве земной поверхности и влажной воздушной массы в нижнем слое атмосферы. Выше

располагается относительно холодная воздушная масса. Возникновение конвективных гроз чаще всего отмечается летом в послеполуденные часы в размытом барическом поле, на периферии заполняющихся циклонов и в седловинах. [3].

Адвективные грозы является следствием быстрого перемещения относительно холодной и влажной воздушной массы над теплой подстилающей поверхностью в летние месяцы. Например, в передней части барического гребня в холодной воздушной массе за холодным фронтом. Адвективные грозы наблюдаются и над побережьем в дневное время, и над прибрежными водами морей ночью. [3].

Образованием *орографических гроз* является вынужденный подъем неустойчивой воздушной массы вдоль наветренных склонов горных препятствий [3].

Типичными синоптическими процессами для формирования гроз являются: тыловая часть циклона, седловина, восточная периферия антициклона, размытые барические системы, заполняющиеся циклоны. Предвестниками гроз являются башенкообразные и хлопьевидные высоко – кучевые облака, большая величина абсолютной влажности 12-15 г/м³ и более высокая температура 20 – 25°С в утренние часы [2].

Фронтальные грозы, в отличие от внутримассовых, обычно связаны с атмосферными фронтами. Примером фронтальной грозы является прохождение холодного фронта или фронта окклюзии по типу холодного фронта летом. Хотя фронтальные грозы могут наблюдаться и в любые другие сезоны, но все же большинство подобных гроз формируется именно в теплый сезон. Несмотря на то, что суточного хода фронтальные грозы не имеют, они возникают преимущественно во второй половине дня и в это же время имеют максимальную интенсивность. А с закатом их интенсивность, наоборот, быстро снижается [3].

Фронтальные грозы могут формироваться не только на холодных фронтах в дневные часы, но и на теплых фронтах в ночные часы. Это объясняется развитием интенсивных вертикальных движений в слоисто-дождевых облаках за счет ночного понижения температуры верхней части облачности. При этом в облаке увеличивается вертикальный градиент температуры и, как следствие, образуется неустойчивая стратификация. Этот градиент может стать выше влажно – адиабатического, и тогда в атмосфере могут создаться условия для развития ночной конвекции, формирования кучево-дождевой облачности и соответственно гроз [3].

2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ГРОЗ

2.1. Грозы в прогнозах погоды общего и специального назначения

В прогнозы погоды общего назначения включается информация о следующих явлениях погоды: гроза, град, шквал, туман (мгла), гололед, изморозь, налипание (отложение) мокрого снега на проводах и деревьях, метель (в том числе низовая), пыльная (песчаная) буря, гололедица, снежные заносы, заморозки в воздухе и/или на поверхности почвы, сильная жара, сильный мороз, аномально жаркая (холодная) погода.

Сообщение об окончании грозы подается через 15 мин после последнего удара грома [4].

В штормовых предупреждениях об ОЯ и КМЯ термины «местами», «в отдельных районах» применяются при прогнозе конвективных явлений: сильных (очень сильных) осадков, грозы, шквала, града, смерча, а также сильного тумана и заморозков в воздухе и на поверхности почвы [5].

В сообщении SIGMET включаются грозы если они скрытые (OBSC), между слоями облаков (EMBD), частые (FRQ) или по линии шквала (SQL) с градом или без него; не включаются сведения о турбулентности и обледенении [6].

В информации AIRMET, касающейся гроз или кучево-дождевых облаков включается: ISOL (отдельные), OCNL (редкие), FRQ (частые). В сообщениях, касающихся гроз и кучево-дождевых облаков, не должны упоминаться связанные с ними турбулентность или обледенение [6].

В прогнозе TAF включается одно или несколько, но не более трех из следующих ожидаемых на аэродроме явлений погоды, а также их характеристики и, при необходимости, интенсивность: – замерзающие осадки; – туман, замерзающий туман; – слабые, умеренные или сильные осадки (в том числе ливневого типа); – пыльный, песчаный или снежный поземок; – пыльная, песчаная или снежная низовая метель; – пыльная буря; – песчаная буря; – гроза

(с осадками или без осадков); – шквал; – воронкообразное облако (торнадо или водяной смерч) [7].

2.2. Основные методы прогноза гроз

2.2.1. Метод Н. В. Лебедевой для прогнозирования гроз

Для прогноза гроз, ливневых осадков и других явлений, связанных с развитием мощной кучевой и кучево-дождевой облачности, Н.В.Лебедева предложила по данным утреннего зондирования атмосферы рассчитывать параметры конвекции, по которым и определяется возможность возникновения тех или иных конвективных явлений. К таким параметрам относятся [3]:

– Суммарный дефицит точки росы (ΣD , °С) на изобарических уровнях АТ850, АТ700, АТ500;

– Дефицит температуры точки росы у земли или на верхней границе приземной инверсии на момент максимального развития конвекции (D_0 , °С);

– Толщина конвективно – неустойчивого слоя (КНС) ($\Delta H_{\text{КНС}}$, гПа);

– Уровень конденсации ($H_{\text{конд.}}$, км);

– Уровень конвекции ($H_{\text{конв.}}$, км);

– Температура воздуха на уровне конвекции ($T_{\text{конв.}}$, °С);

– Средняя величина отклонения температуры на кривые состояния (T_2) от температуры на кривой стратификации (T). Это отклонение обозначается ΔT и определяется по формуле (2.2.1):

$$\Delta T = \sum_{l=1}^n \frac{(T_2 - T)}{n} \quad (2.2.1)$$

где: T_2 и T - температуры на кривой состояния и кривой стратификации, соответственно на уровнях, кратных 100 гПа, n - число целых слоев толщиной по 100 гПа, начиная от уровня конденсации и заканчивая уровнем конвекции;

– Средняя вертикальная мощность конвективных облаков ($\Delta H_{\text{к.о.}}$, км).

По результатам расчета указанных выше параметров конвекции, Н.В. Лебедева предлагает оценивать возможность возникновения конвективных явлений и их интенсивности по следующей таблице 2.2.1:

Таблица 2.2.1. - Параметры конвекции и соответствующие им конвективные явления (по Н.В. Лебедевой).

ΣD	D_0	$\Delta H_{\text{кнс}}$	$H_{\text{конд}}$	$H_{\text{конв}}$	$T_{\text{конв}}$	ΔT	$\Delta H_{\text{к.о}}$	Конвективные явл-я
>25	>20	-	-	-	-	-	-	Не ожидается
≤ 25	≤ 16	>10	$\sim 1,5$	>6	≤ 23	>4	$\sim 4,5$	Слаб. ливн. дождь
≤ 20	≤ 14	>20	$\sim 1,5$	>5	$-23..-10$	≥ 3	$>3,5$	Лив. дождь без гр.
≤ 20	≤ 14	>30	$\sim 1,5$	>8	≤ 23	≥ 3	$>6,5$	Лив. дождь, мест. гр.
≤ 16	~ 10	$>60-100$	$1,5-1,0$	>8	≤ 23	≥ 3	$>7,5$	Сил. лив. дождь с гр.
~ 16	~ 10	-	$1,5-1,0$	>8	≤ 23	≥ 3	$>7,5$	Град

2.2.2. Метод Бейли для прогнозирования гроз

Метод Бейли для прогноза гроз используется обычно в сочетании с другими методами. Бейли (США) установлены признаки отсутствия грозы. Если в каком-либо районе по данным утреннего зондирования выполняется хотя бы один из перечисленных ниже пяти признаков, то в этом районе гроза не ожидается [3]:

- На любом уровне в слое между изобарическими поверхностями АТ850 и АТ700 гПа дефицит температуры точки росы $D \geq 13^\circ\text{C}$;
- Сумма дефицитов температуры точки росы ΣD на уровнях АТ700 и АТ600 гПа $\geq 28^\circ\text{C}$;
- Заметная на картах барической топографии адвекция сухого воздуха на уровнях АТ850 и АТ700 гПа;
- Вертикальный градиент температуры в слое АТ850 - АТ500 гПа $\leq 0,5^\circ\text{C}/100 \text{ м}$;

- Уровень замерзания ($T = -12^{\circ}\text{C}$) располагается ниже высоты 3600 м, то в этом случае из развивающихся облаков могут выпадать только слабые ливневые осадки.

Если же ни одного условия не выполняется, то в прогнозе следует указывать грозу согласно графику:

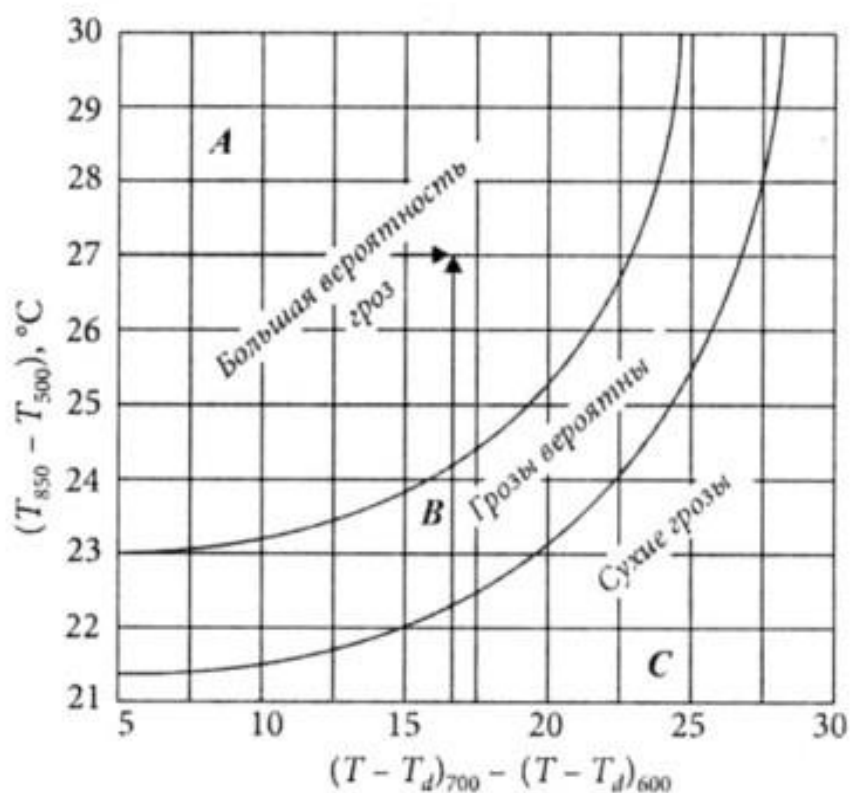


Рисунок 2.2.1 - График для прогноза гроз по методу Бейли

На этом графике по горизонтальной оси откладывается сумма дефицитов точки росы на уровнях АТ700 и АТ600 гПа. По вертикальной оси – разность температур на уровнях АТ850 и АТ500 гПа.

2.3. Индексы конвективной неустойчивости

Индексы неустойчивости – физико-статистические параметры, описывающие вероятность и мощность развития конвективных процессов в неустойчиво стратифицированной атмосфере. Они используются в качестве предикторов для прогноза различных явлений погоды, связанных с конвекцией. По результатам радиозондирования на основе данных о скорости и

направлении и сдвиге ветра, параметрах влажности и температуры воздуха на определенных высотах производятся расчёты характеристик, по которым оценивается вероятность возникновения того или иного конвективного явления. Большинство индексов разработано для прогноза наличия или отсутствия грозы как комплекса метеорологических явлений, связанных с развитием кучево-дождевых облаков.

К настоящему времени разработано множество индексов конвективной неустойчивости. Все они работают напрямую или косвенно и дают различные результаты. Здесь мы рассмотрим основные индексы:

1) K_i (число Вайтинга) — индекс неустойчивости.

Расчет K_i основан на вертикальном градиенте температуры, влажности воздуха в нижней тропосфере с учётом вертикальной протяжённости влажного слоя воздуха. Данный индекс целесообразнее использовать для внутримассовых гроз [8]. Индекс K_i рассчитывается по следующей формуле:

$$K_i = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - \Delta T_{d700} \quad (2.3.1)$$

Где,

K_i — индекс неустойчивости (число Вайтинга);

T_{850} — температура воздуха на изобарической поверхности 850 гПа;

T_{500} — температура воздуха на изобарической поверхности 500 гПа;

T_{d850} — температура точки росы на изобарической поверхности 850 гПа;

ΔT_{d700} — дефицит точки росы ($T - T_d$) на изобарической поверхности 700 гПа.

Ниже, в таблице 2.3.1 приводится количественная оценка коэффициента Вайтинга на возможность развития конвективных явлений, с указанием площади, на которой они ожидаются.

Таблица 2.3.1 – Количественная оценка гроз по K_i

K_i	Количественная оценка	Площадь покрытия территории
< 20	Без гроз	—
$20 \leq K_i \leq 25$	Отдельные изолированные грозы	Не более 10% площади территории
$25 < K_i \leq 30$	Несколько гроз	Не более 10-20% площади территории
$30 < K_i \leq 35$	Рассеянные грозы	20-50% площади территории
$35 < K_i \leq 40$	Многочисленные грозы	50-70% площади территории
$K_i > 40$	Грозы повсеместно	Грозовые очаги занимают $>70\%$ территории

2) Vertical Totals index (VT).

Основан исключительно на температурном градиенте между двумя основными изобарическими поверхностями – 850 гПа и 500 гПа.

Рассчитывается по формуле:

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad (2.3.2)$$

Если $VT > 28$, следовательно тропосфера обладает высоким потенциалом конвективной неустойчивости, достаточным для образования гроз [8].

3) Cross Totals index (CT).

Основан на соотношении температуры точки росы на изобарической поверхности 850 гПа и температуры воздуха на изобарической поверхности 500 гПа. Рассчитывается по формуле [8]:

$$CT = T_{d850} - T_{500} \quad (2.3.3)$$

Ниже приводится таблица с количественной оценкой грозовой деятельности по рассматриваемому индексу.

Таблица 2.3.2 – Оценка развития грозовой деятельности по индексу Cross Totals (СТ)

СТ	Потенциал неустойчивости	Грозовая деятельность
СТ < 18	Низкий потенциал конвективной неустойчивости	Отсутствует
СТ 18 - 19	Умеренная неустойчивость	Слабая грозовая деятельность
СТ 20 - 21	Сильная неустойчивость	Умеренные грозы
СТ 22 - 23	Очень сильная неустойчивость	Возможны сильные грозы
СТ 24 – 25	Высокая энергия неустойчивости	Сильные грозы
СТ > 25	Очень высокая энергия неустойчивости	Очень сильные грозы

4) Total Totals index (ТТ).

Представляет собой комплексное сочетание ранее рассмотренных индексов VT и СТ – их суммарный результат. Используется для прогноза грозовых очагов по степени охватываемой ими территории. Рассчитывается по формуле [8]:

$$TT = VT + CT \quad (2.3.4)$$

Таблица 2.3.3 – Оценка интенсификации грозовой деятельности по индексу Total Totals (ТТ)

ТТ	Оценка грозовой деятельности
ТТ < 44	Невозможна
ТТ 44 - 45	Отдельная гроза или несколько гроз

ТТ 46 - 47	Рассеянные грозовые очаги
ТТ 48 - 49	Значительные количество гроз, отдельные - сильные
ТТ 50 - 51	Рассеянные сильные грозовые очаги, отдельные очаги со смерчем
ТТ 52 - 55	Значительное количество очагов сильных гроз, отдельные очаги со смерчем
ТТ > 55	Многочисленные сильные грозы с сильными смерчами

5) SWEAT – индекс неустойчивости, разработанный в ВВС США.

SWEAT – комплексный критерий для диагноза и прогноза опасных и стихийных явлений погоды, связанных с конвективной облачностью. Этот параметр включает в себя индекс неустойчивости воздушной массы, скорость и сдвиг ветра. Рассчитывается по формуле [8]:

$$SWEAT = 12 \cdot Td850 + 20 \cdot (TT - 49) + 3,888 \cdot F850 + 1,944 \cdot F500 + (125 \cdot (\sin(D500 - D850) + 0,2)) \quad (2.3.5)$$

Где,

$Td850$ – температура точки росы на уровне 850 гПа;

ТТ – Total Totals индекс;

$F850$ – скорость ветра на уровне 850 гПа;

$F500$ – скорость ветра на уровне 500 гПа;

$D500$ и $D850$ – направление ветра на уровнях 500 гПа и 850 гПа.

При этом, второй член уравнения следует установить в 0, если $ТТ \leq 49$, а последнее слагаемое в формуле будет равно 0, если не выполняется любое из следующих условий:

- $D850$ в диапазоне от 130 до 250 градусов;
- $D500$ в диапазоне от 210 до 310 градусов;
- Разность в направлении ветра ($D500 - D850$) положительна;
- $F850$ и $F500$ скорости ветра ≤ 7 м/с [8];

Ниже, в таблице 2.3.4 приводится количественная характеристика рассматриваемого индекса при прогнозировании конвективных явлений.

Таблица 2.3.4 – Оценка развития грозовой деятельности по индексу SWEAT

SWEAT	Условия для активной грозовой деятельности
SWEAT < 250	Нет условий
SWEAT 250-350	Есть условия для сильных гроз, града и шквалов
SWEAT 350-500	Есть условия для очень сильных гроз, крупного града, сильных шквалов, смерчей
SWEAT ≥ 500	Условия для очень сильных гроз, крупного града, сильных шквалов, сильных смерчей

б) Li – Lifted index (индекс поднятия).

Данный индекс основан на методе частицы и работает на изменении температурной стратификации некоторого объёма воздуха, поднявшегося от поверхности земли (или с заданного уровня) до уровня 500 гПа, и рассчитывается с учётом вовлечения в него окружающего воздуха. То есть, Li характеризует термическую стратификацию атмосферы по отношению к вертикальным перемещениям воздуха. Если значения Li положительные, то атмосфера устойчива. Если же значения Li отрицательные, то атмосфера неустойчива [8].

Таблица 2.3.5 – Оценка интенсификации конвективных явлений по индексу Li

Li	Потенциал термической неустойчивости	Конвективные явления
$Li \geq 6$	Атмосфера очень устойчива	—
$1 \leq Li \leq 5$	Атмосфера устойчива	Кучевая облачность хорошей погоды

$0 \geq Li \geq -2$	Небольшая неустойчивость	Конвективная облачность с ливнями, при интенсивном дневном прогреве или в зоне атмосферного фронта – с грозами и градом
$-3 \geq Li \geq -5$	Умеренная неустойчивость	Сильные грозы
$Li \leq -6$	Высокая неустойчивость	Очень сильные грозы

7) Индекс CAPE – потенциальная энергия конвективной неустойчивости, которая напрямую связана вертикальной скоростью восходящих потоков. Более высокие значения энергии неустойчивости указывают на более интенсивную конвекцию в облаке, то есть на более опасные явления погоды [8].

Таблица 2.3.6 – Интенсивность конвективных явлений по CAPE

CAPE	Потенциал неустойчивости	Конвективные явления
400-1000 Дж/кг	Небольшая неустойчивость	Сu, Сb, слабые ливневые осадки
1000-2500 Дж/кг	Умеренная неустойчивость	Сb с ливнями, грозы, местами град и шквалы
2500-3500 Дж/кг	Сильная неустойчивость	Грозы, местами сильные с крупным градом, распространённые шквалы, значительная вероятность смерчей
≥ 3500 Дж/кг	Очень сильная неустойчивость	Сильные и очень сильные грозы, крупный град, сильные шквалы, смерчи

8) CIN – Convective Inhibition (конвективное торможение).

CIN – количество энергии, необходимой частице воздуха для преодоления в нижней тропосфере задерживающего слоя.

Значение CIN больше 200 Дж/кг достаточно для предотвращения конвекции в атмосфере. Энергию CIN принято записывать отрицательными числами [8].

9) Showalter stability index

Индекс стабильности Шоуолтера (SSI) – популярный индекс суровой погоды. Он похож на индекс LI (индекс поднятия), но SSI использует участок, поднятый с 850 гПа до 500 гПа. При 500 ГПа температура посылки вычитается из температуры зондирования. Более отрицательные значения SSI указывают на большую нестабильность [8]. Значения SSI были эмпирически связаны с конвективными событиями следующим образом и представлены в таблице 2.3.7.

Таблица 2.3.7 – Связь SSI с конвективными явлениями

SSI	Конвективные явления
От +3 до +1	Ливни, возможны отдельные грозы
От +1 до -2	Ливни с грозами
От -3 до -6	Сильные грозы
Ниже -6	Сильные грозы со смерчами

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРОЗ НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1. Физико-географическое положение Рязанской области

Рязанская область расположена в центре Европейской части России, в понижении между Среднерусской и Приволжской возвышенностями в центральной части Русской равнины. По характеру рельефа область делится на 3 основные части. Северная часть (левобережье реки Ока) представляет плоскую песчано-болотную равнину. В понижениях много болот и озер. Восточная часть (правобережье реки Ока), более высокая. Рельеф слегка холмистый, характеризующийся чередованием меридионально вытянутых повышений и понижений. Рельеф западной части пересеченный, расчлененный оврагами и балками.

Рязанская область входит в пределы 2-х ландшафтных зон: лесной и лесостепной, граница между которыми проходит вдоль р. Оки. Почвенный покров области весьма разнообразен.

3.2. Основные климатические характеристики Рязанской области.

Климат Рязанской области можно отнести к умеренно – континентальный, характеризуется теплым летом, умеренно – холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными переходными сезонами года – весной и осенью.

Теплый сезон года начинается с середины весны. В третьей декаде марта обычно начинается весеннее снеготаяние. Наиболее интенсивно происходит оно в первой декаде апреля, когда средняя суточная температура устойчиво переходит через 0°C. Средняя месячная температура самого теплого месяца года - июля, колеблется от 18,5 до 19,5°C. В отдельные жаркие дни температура воздуха повышается до 38-41°C (абсолютный максимум).

Температура воздуха самого холодного месяца - января, составляет -10,5-11,0°C, а в очень холодные суровые зимы опускается до -40-45°C (абсолютный минимум). В зимнее время образуется устойчивый снежный покров, высота которого к концу зимы на полях достигает 25-30 см.

Годовая амплитуда средних месячных температур составляет 30-30,5°C.

По увлажнению Рязанская область относится к зоне неустойчивого увлажнения.

Среднее годовое количество атмосферных осадков около 500-575 мм с колебаниями в отдельные годы от 170-200 мм (1920 г.) до 750-850 мм (1952, 1962 гг.). Две трети осадков выпадает в виде дождя, а одна треть в виде снега. Осадки в летний период носят преимущественно ливневой характер.

3.3. Выбор станций для проведения исследований

Для исследования были выбраны метеостанции, имеющие различное расположение на выбранной территории. Это связано с большим разнообразием погодных и климатических условий на территории области.

Были выбраны метеостанции: на севере – МС Тума, на западе – АМСГ Сасово, на юге – МС Ряжск, на востоке – АЭ Рязань и в центральной части – МС Шилово.

На рисунке 3.3.1 приведена схема расположения выбранных станций.

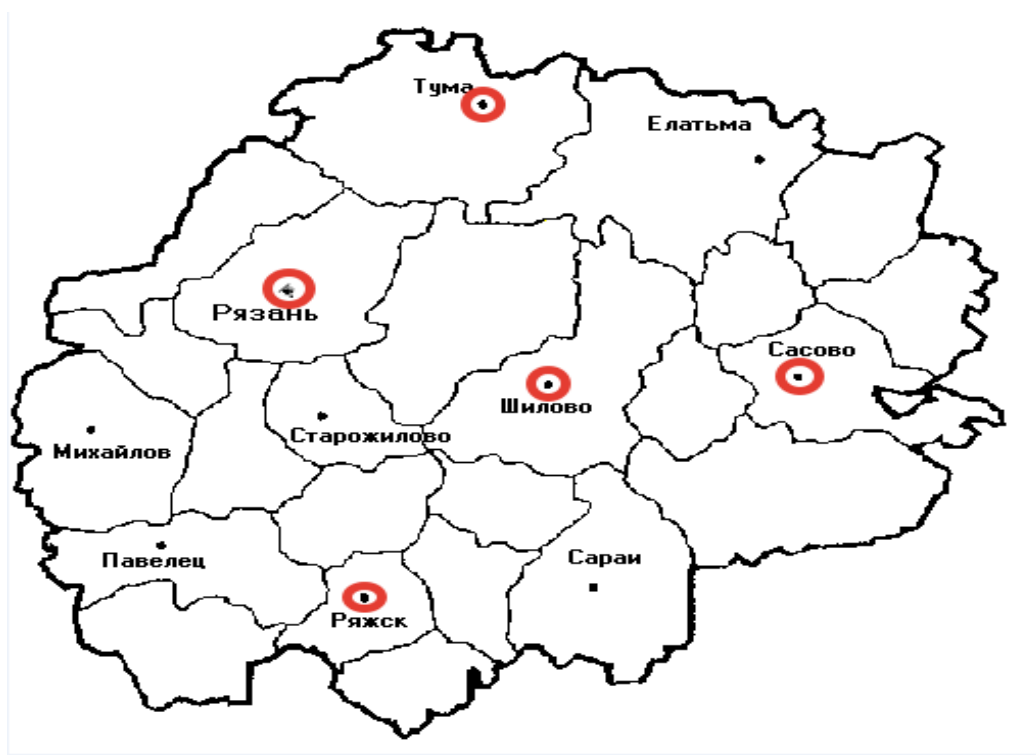


Рисунок 3.3.1. Сеть метеорологических станций Рязанского ЦГМС – филиала
ФГБУ «Центральное УГМС»

3.4. Систематизация и анализ исходных данных

Был создан и обработан архив данных за период 2017-2021 гг., представляющий собой: данные из метеорологических книжек КМ-1, синоптические карты в дни с грозой, телеграммы в формате WAREP о неблагоприятных и опасных метеорологических явлениях, а также для работы были использованы индексы конвективной неустойчивости, рассчитанные по данным аэрологического зондирования станции Рязань (по данным сайта «Университет Вайоминга»).

Из архива были выбраны случаи с грозой на выбранных для исследования станциях с указанием даты, непрерывной продолжительности и сопутствующих явлений.

В Приложении А, в таблице 1 приведены систематизированные исходные данные по станции Тума, остальные данные (ввиду большого объёма, доступны по ссылке <https://cloud.mail.ru/public/xPex/gr2S6x57z>)

3.5. Годовой ход гроз

Изучив данные за период 2017-2021 гг., был произведен анализ годового хода гроз на выбранных станциях.

В таблице 3.5.1 и на рисунке 3.5.1 приводятся данные о количестве и повторяемости гроз на МС Тума. За весь рассматриваемый период на выбранной станции наблюдались 109 случаев грозовой деятельности.

Таблица 3.5.1 – Годовой ход гроз на МС Тума

Месяц	Количество гроз	Повторяемость, %
Апрель	4	4
Май	19	17
Июнь	24	22
Июль	40	37
Август	20	18
Сентябрь	2	2
Октябрь	-	-

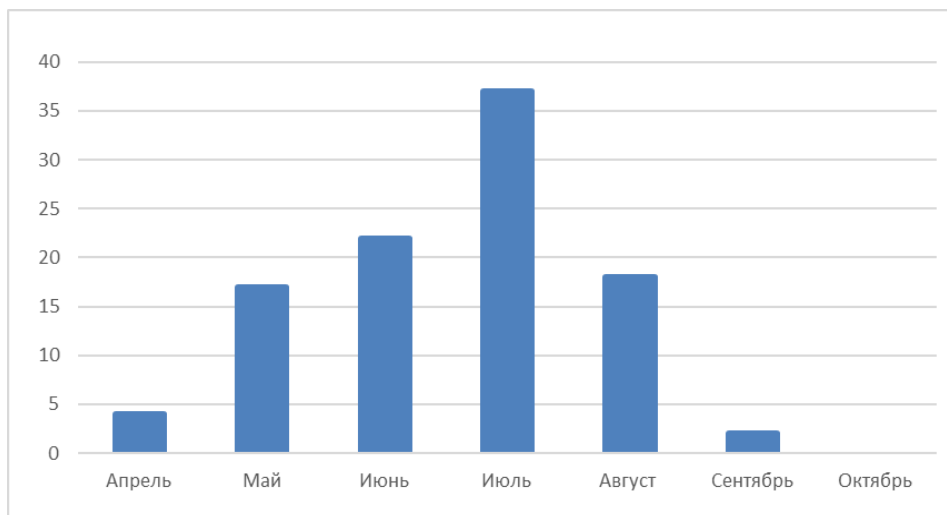


Рисунок 3.5.1 - Годовой ход повторяемости гроз на МС Тума

В таблице 3.5.2 и на рисунке 3.5.2 приводятся данные о количестве и повторяемости гроз на МС Ряжск. За весь рассматриваемый период (2017 – 2021 гг.) на выбранной станции наблюдался 131 случай грозовой деятельности.

Таблица 3.5.2 – Годовой ход гроз на МС Ряжск

Месяц	Количество гроз	Повторяемость, %
Апрель	5	4
Май	22	17
Июнь	39	30
Июль	34	26
Август	25	19
Сентябрь	4	3
Октябрь	2	1

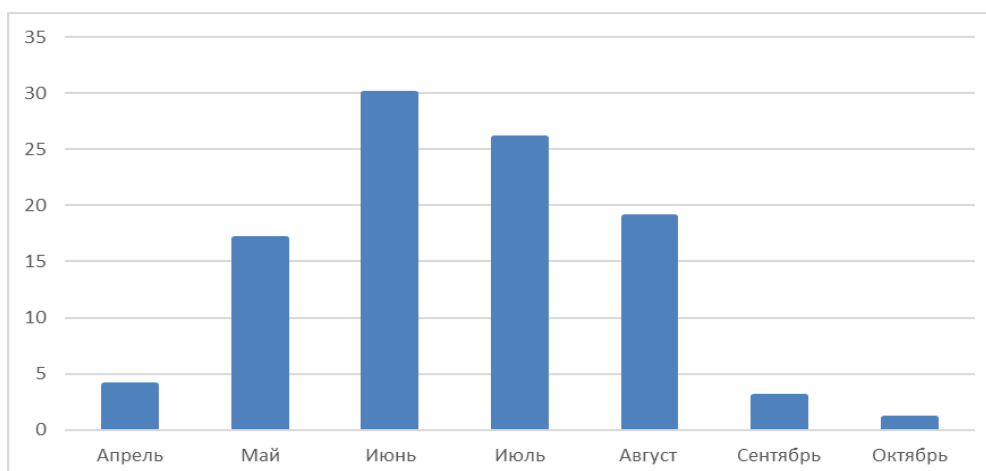


Рисунок 3.5.2 - Годовой ход повторяемости гроз на МС Ряжск

В таблице 3.5.3 и на рисунке 3.5.3 приводятся данные о количестве и повторяемости гроз на АМСГ Сасово, за весь рассматриваемый период (2017 – 2021 гг.) на выбранной станции наблюдался 138 случаев грозовой деятельности.

Таблица 3.5.3 – Годовой ход гроз на АМСГ Сасово

Месяц	Количество гроз	Повторяемость, %
Апрель	4	3
Май	24	17
Июнь	35	25
Июль	44	32
Август	23	17
Сентябрь	4	3
Октябрь	4	3

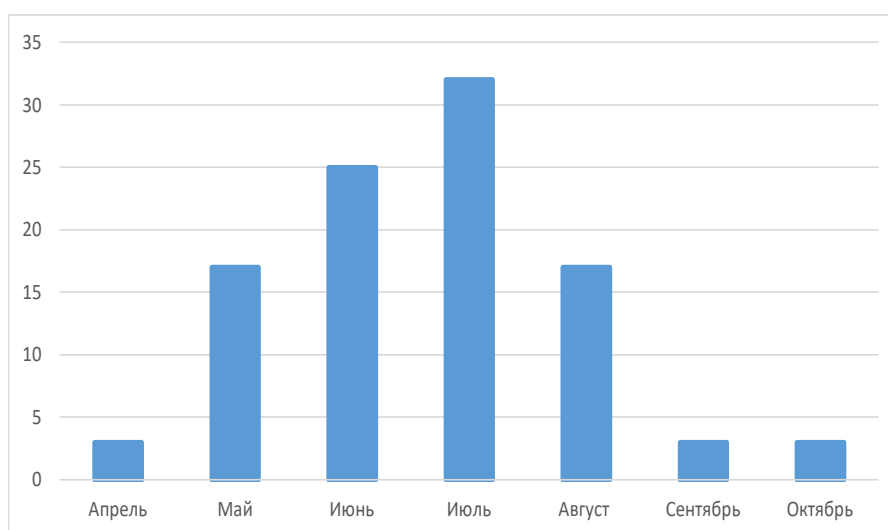


Рисунок 3.5.3 - Годовой ход повторяемости гроз на АМСГ Сасово

В таблице 3.5.4 и на рисунке 3.5.4 приводятся данные о количестве и повторяемости гроз на АЭ Рязань, за весь рассматриваемый период (2017 – 2021 гг.) на выбранной станции наблюдался 98 случаев грозовой деятельности.

Таблица 3.5.4 – Годовой ход гроз на АЭ Рязань

Месяц	Количество гроз	Повторяемость, %
Апрель	6	6
Май	14	14
Июнь	28	29
Июль	28	29
Август	20	20
Сентябрь	2	2
Октябрь	-	-

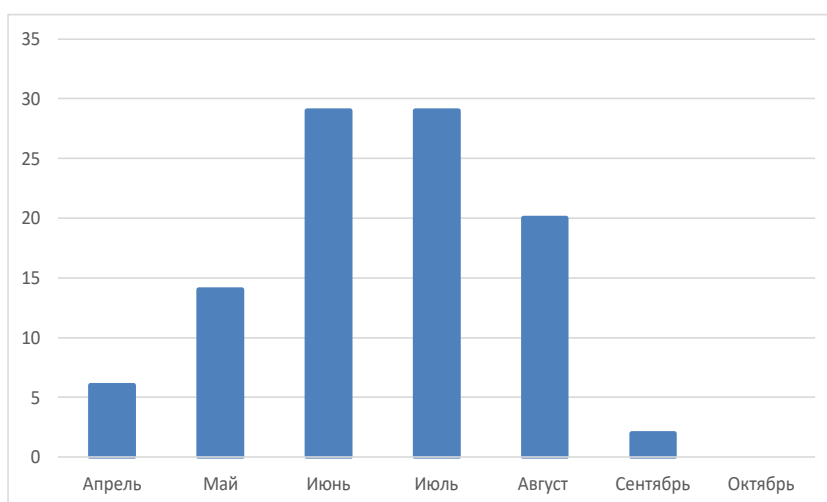


Рисунок 3.5.4 - Годовой ход повторяемости гроз на АЭ Рязань

В таблице 3.5.5 и на рисунке 3.5.5 приводятся данные о количестве и повторяемости гроз на МС Шилово, за весь рассматриваемый период (2017 – 2021 гг.) на выбранной станции наблюдался 134 случая грозовой деятельности.

Таблица 3.5.5 – Годовой ход гроз на МС Шилово

Месяц	Количество гроз	Повторяемость, %
Апрель	5	4
Май	19	14
Июнь	38	28
Июль	49	37
Август	19	14
Сентябрь	3	2
Октябрь	1	1

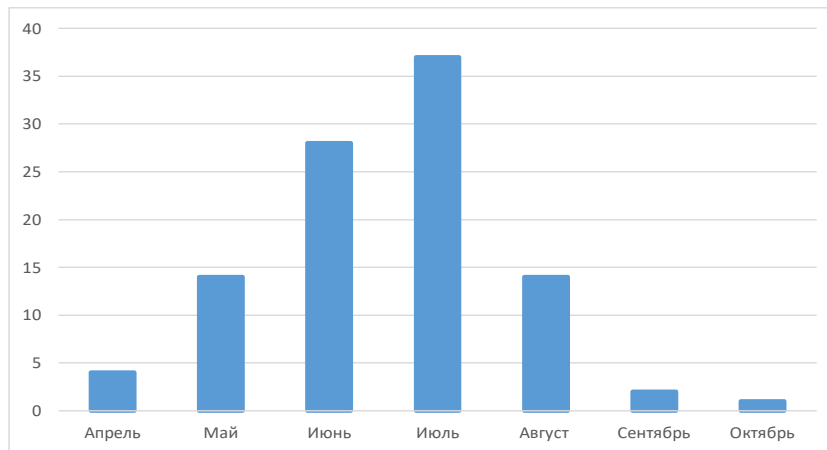


Рисунок 3.5.5 - Годовой ход повторяемости гроз на МС Шилово

На рисунках 3.5.1-3.5.5 и по результатам анализа таблиц 3.5.1-3.5.5 можно увидеть, что основной период грозовой деятельности приходится на летний период времени. Это обуславливается тем, что летом выполняются необходимые условия для создания достаточно мощных восходящих потоков влаги.

Самое большое число наблюдавшихся случаев приходится на июнь и июль, а самое наименьшее на апрель и сентябрь, в редком случае бывали дни с грозой в октябре. Разница в повторяемости гроз на всех станциях незначительна. Самые ранние грозы были в апреле на каждой из вышеперечисленных МС, но на АЭ Рязань приходится наибольшее количество случаев гроз в апреле (6 случаев), самые поздние грозы были в октябре на МС Ряжск (2 случая), АМСГ Сасово (4 случая) и МС Шилово (1 случай).

За весь период (2017-2021 гг.) чаще всего наблюдались дневные грозы, а именно во второй половине дня, реже всего наблюдались ночные грозы.

Ниже, в таблице 3.5.6 приводятся обобщённые данные по всем станциям в рассматриваемый период.

Таблица 3.5.6 – Годовое распределение гроз на МС за период 2017-2021 гг.

Станция \ Год	2017	2018	2019	2020	2021	Всего
Тума	24	27	15	14	29	109
Ряжск	31	17	22	29	32	131
Сасово	19	28	36	22	33	138
Рязань	20	23	12	19	24	98
Шилово	26	20	21	27	40	134

Из таблицы 3.5.6 видно, что больше всего случаев грозовой деятельности за выбранный период (2017 – 2021 гг.) наблюдалось на АМСГ Сасово – 138 случая, а меньше всего на АЭ Рязань – 98 случая. В 2021 году наибольшее количество наблюдавшихся случаев грозовой деятельности - 40 случаев на МС Шилово, а самое наименьшее в 2019 году - 12 случаев на АЭ Рязань.

Всего за весь рассматриваемый период (2017 – 2021 гг.) на выбранных станциях наблюдалось 190 случаев грозовой деятельности.

3.6. Непрерывная продолжительность гроз

Изучив данные за период 2017-2021 гг., был произведен анализ повторяемости непрерывной продолжительности гроз на вышеперечисленных станциях. Результаты систематизации и анализа приведены в Таблице 3.6.1 и, в графическом виде на Рисунке 3.6.1.

Таблица 3.6.1 – Повторяемость непрерывной продолжительности гроз

Продолжительность	Метеостанция				
	Тума	Ряжск	Сасово	Рязань	Шилово
	Повторяемость, %				
До 1 часа	46	20	17	48	51
1-3 часа	45	69	64	50	43
3 и более	9	11	19	2	6

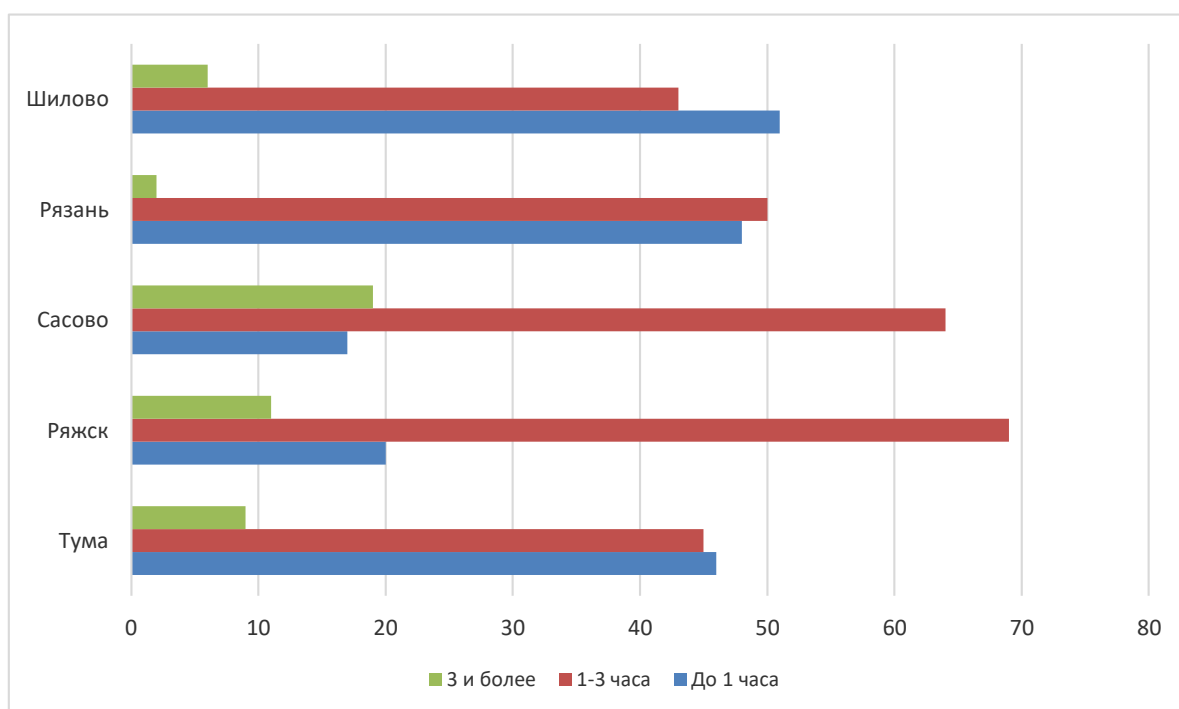


Рисунок 3.6.1 - Повторяемость непрерывной продолжительности гроз за период 2017-2021 гг.

На Рисунке 3.6.1 можно наблюдать процентное соотношение повторяемости непрерывной продолжительности. Видно, что наибольшую повторяемость имеет продолжительность от 1 часа до 3 часов, а самым наименьшим является интервал «3 часа и более».

Самые продолжительные грозы отмечены на: МС Шилово за период с 09.06.2021 г. по 10.06.2021 г. продолжительность грозы составила 8 часов 45 минут, МС Тума за период с 02.07.2017 г. по 03.07.2017 г. продолжительность грозы составила 6 часов 55 минут, МС Ряжск за период с 30.06.2017 г. по 01.07.2017 г. продолжительность грозы составила 6 часов 40 минут, АМСГ Сасово 08.07.2018 г. продолжительность грозы составила 6 часов 12 минут, на АЭ Рязань 20.06.2020 г. продолжительность грозы составила 4 часа 13 минут.

Таблица 3.6.2 – Продолжительность (ч) гроз за период 2017-2021 гг.

Станция \ Год	2017	2018	2019	2020	2021	Всего
Тума	24	30	28	20	48	150
Ряжск	54	24	33	69	54	234
Сасово	37	52	66	52	77	284
Рязань	24	26	17	28	28	123
Шилово	39	21	35	33	57	185

В таблице 3.6.2 можно наблюдать продолжительность в часах непрерывной продолжительности гроз. Видно, что наибольшая продолжительность в часах наблюдалась в 2021 году на АМСГ Сасово – 77 часов, а самой наименьшая в 2019 году на АЭ Рязань – 17 часов.

Также из таблицы 3.6.2 за весь выбранный период (2017 – 2021 гг.) больше всего часов непрерывной продолжительности гроз приходится на АМСГ Сасово – 284 часа, а меньше всего приходится на АЭ Рязань – 123 часа.

3.7. Сопутствующие явления

Для анализа сопутствующих грозам явлений, был отобран архив явлений при грозе за период 2017-2021 гг. на вышеперечисленных станциях. Рассматривались такие сопутствующие явления как: град, шквал и ливень.

Результаты систематизации приведены ниже, в таблицах 3.7.1-3.7.5 и на рисунках 3.7.1-3.7.5.

Рассмотрим сопутствующие явления при грозе на МС Тума, за весь период.

В таблице 3.7.1 и в графическом виде на рисунке 3.7.1 отражены сопутствующие явления при грозе на МС Тума.

Таблица 3.7.1 – Сопутствующие явления при грозе на МС Тума

Явление	Количество	Повторяемость, %
Ливень, шквал	5	5
Ливень	82	75
Ливень, град	1	1
Нет явлений	21	19

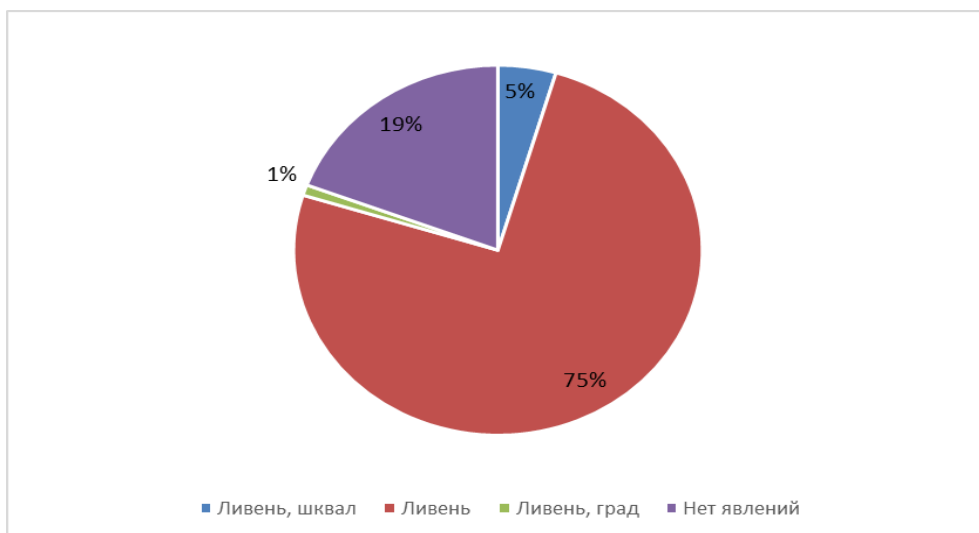


Рисунок 3.7.1 – Повторяемость сопутствующих явлений при грозе

Чаще всего (75%) вместе с грозой наблюдался ливень, в 19% случаев дополнительно не было отмечено явлений, в 5% - это ливень со шквалом и в 1% случаев наблюдался ливень с градом.

Сопутствующие явления, которые достигли критерия НГЯ и ОЯ во время грозы отмечены на МС Тума 21.04.2018 г. и 26.04.2018 г.: наблюдался шквал и ливень, максимальная скорость ветра составила 15 м/с. 23.05.2019 г. наблюдался ливень и шквал, максимальная скорость ветра составила 16 м/с.

Далее рассмотрим сопутствующие явления при грозе на МС Ряжск, за весь период.

В таблице 3.7.1 и в графическом виде на рисунке 3.7.1 отражены сопутствующие явления при грозе на МС Ряжск.

Таблица 3.7.2 – Сопутствующие явления при грозе на МС Рязск

Явление	Количество	Повторяемость, %
Ливень, шквал	11	8
Ливень	82	63
Ливень, шквал, град	1	1
Шквал	1	1
Нет явлений	36	27

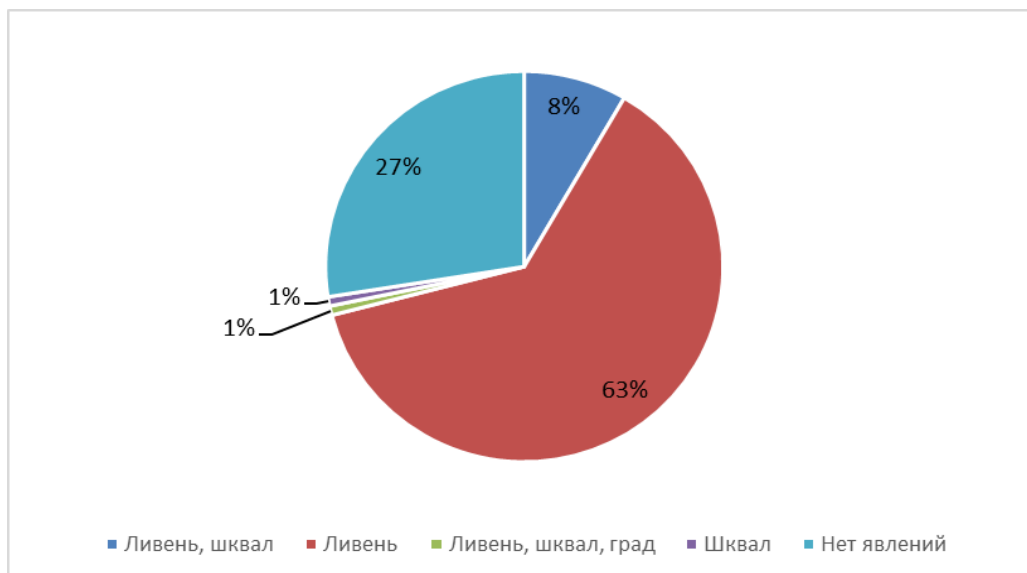


Рисунок 3.7.2 – Повторяемость сопутствующих явлений при грозе на МС Рязск.

Чаще всего при грозе наблюдался ливень (63%), грозы без дополнительных явлений наблюдались в 27% случаев, комплекс из ливня и шквала в 8% случаев и по 1% случаев приходится на грозу со шквалом и грозу с комплексом, состоящим из ливня, шквала и града.

Сопутствующие явления, которые достигли критерия НГЯ и ОЯ во время грозы отмечены на МС Рязск: 14.07.2017 г. наблюдался ливень за 5 часов осадков выпало 51,0 мм, также наблюдался шквал с максимальной скоростью ветра 18 м/с и град. 02.06.2020 г. и 03.06.2020 г. за 3 часа осадков выпало 18,3 мм. 01.08.2020 г. за 57 минут осадков выпало 19,0 мм. 12.06.2021 г. за 2 часа 16 минут осадков выпало 51,8 мм. 28.06.2021 г. наблюдался шквал и ливень, за 48 минут осадков выпало 15,4 мм;

Далее рассмотрим сопутствующие явления при грозе на АМСГ Сасово, за весь период.

Таблица 3.7.3 – Сопутствующие явления при грозе на АМСГ Сасово

Явление	Количество	Повторяемость, %
Ливень, шквал	24	17
Ливень	79	57
Ливень, шквал, град	1	1
Шквал	2	2
Нет явлений	32	23

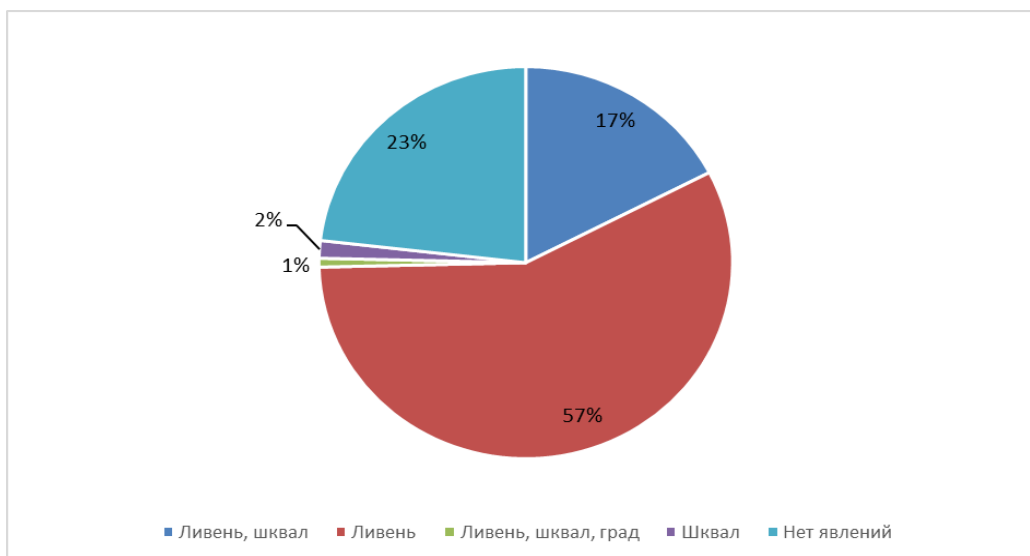


Рисунок 3.7.3 – Повторяемость сопутствующих явлений при грозе на АМСГ Сасово

Наиболее часто при грозе наблюдался ливень (57%), в 23% случаев не было отмечено дополнительных явлений, в 17% случаев наблюдался ливень со шквалом, в 2% случаев только шквал, в 1% случаев наблюдались одновременно ливень, шквал и град.

Сопутствующие явления, которые достигли критерия НГЯ и ОЯ во время грозы отмечены на АМСГ Сасово: 26.04.2018 г. и 18.05.2018 г. наблюдался ливень и шквал, максимальная скорость ветра составила 16 м/с. 09.05.2019 г. наблюдался шквал и ливень, максимальная скорость ветра составила 17 м/с. 13.05.2019 г. наблюдался шквал и ливень, максимальная скорость ветра составила 18 м/с. 24.06.2019 г. наблюдался шквал и ливень, максимальная скорость ветра составила 15 м/с. 08.07.2020 г. наблюдался шквал и ливень, максимальная скорость ветра составила 25 м/с (ОЯ). 19.05.2021 г. наблюдался

шквал, максимальная скорость ветра 22 м/с. 20.07.2021 г. наблюдался ливень за 2 часа осадков выпало 16,0 мм, также наблюдался шквал.

Далее рассмотрим сопутствующие явления при грозе на АЭ Рязань, за весь период.

Таблица 3.7.4 – Сопутствующие явления при грозе на АЭ Рязань

Явление	Количество	Повторяемость, %
Ливень, шквал	7	7
Ливень	73	75
Ливень, шквал, град	1	1
Нет явлений	17	17

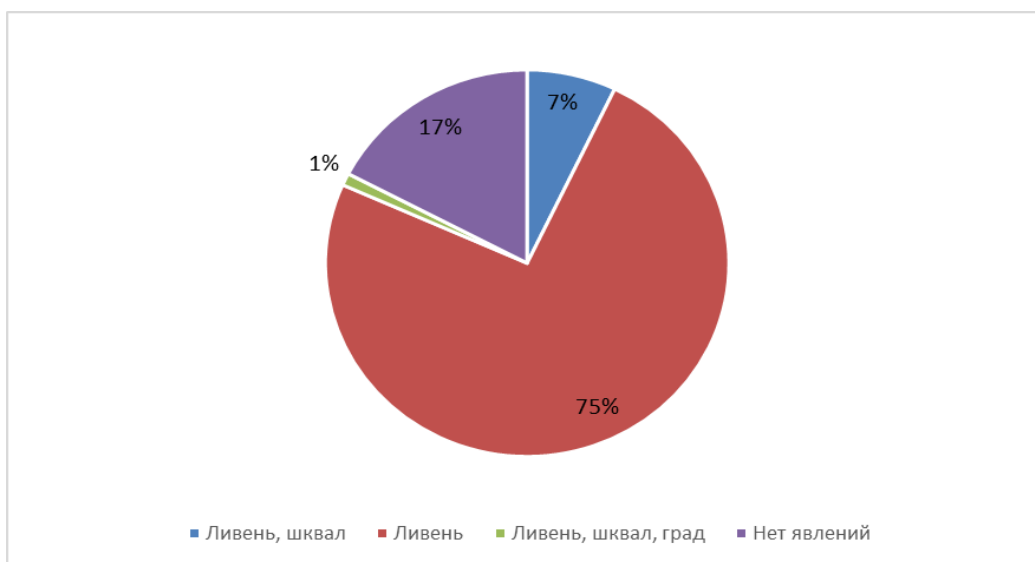


Рисунок 3.7.4 – Повторяемость сопутствующих явлений при грозе на АЭ Рязань

На АЭ Рязань чаще всего с грозой наблюдался ливень (75% случаев), в 17% случаев гроза отмечена без дополнительных явлений, в 7% случаев наблюдался ливень со шквалом, в 1% случаев при грозе были отмечены одновременно ливень, шквал и град.

Сопутствующие явления, которые достигли критерия НГЯ и ОЯ во время грозы отмечены на АЭ Рязань: 04.07.2020 г. наблюдался ливень за 25 минут осадков выпало 26,9 мм, также наблюдался шквал с максимальной скоростью ветра 18 м/с. 30.07.2021 г. наблюдался ливень за 5 минут осадков выпало 15,0 мм, также наблюдался шквал.

Далее рассмотрим сопутствующие явления при грозе на МС Шилово, за весь период.

Таблица 3.7.5 – Сопутствующие явление при грозе на МС Шилово

Явление	Количество	Повторяемость, %
Ливень, шквал	13	10
Ливень	86	64
Ливень, шквал, град	4	2
Нет явлений	29	22
Шквал	1	1
Ливень, град	1	1

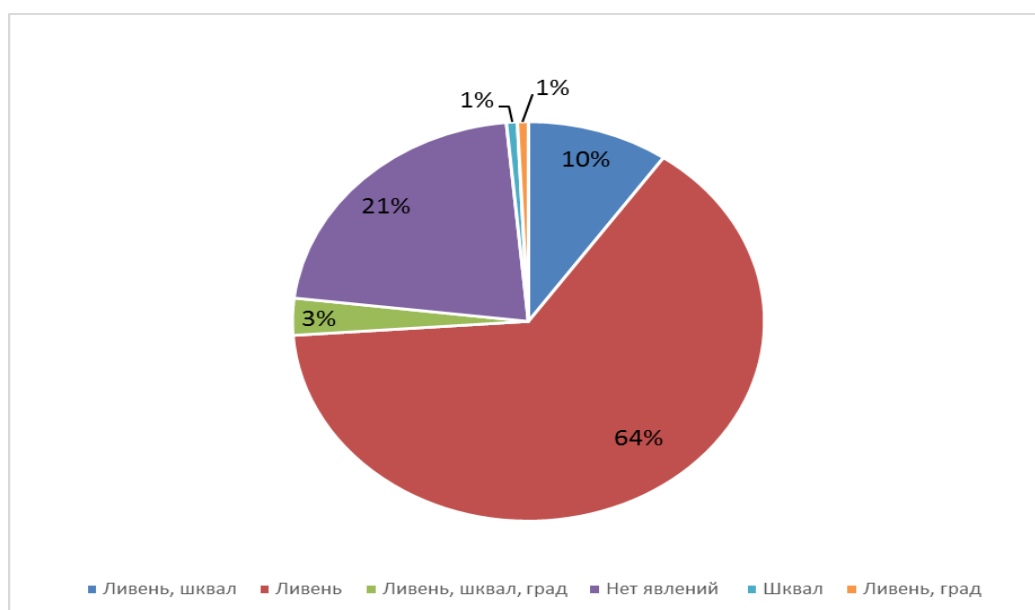


Рисунок 3.7.5 – Повторяемость сопутствующих явлений при грозе на МС Шилово

Здесь также чаще всего регистрировался ливень (64%), в 21% случаев гроза отмечена без дополнительных явлений, в 10% случаев наблюдался ливень со шквалом, в 3% случаев был отмечен комплекс явлений, состоящих из ливня, шквала и града и по 1% случаев с грозой приходится на шквал и на ливень с градом.

Сопутствующие явления, которые достигли критерия НГЯ и ОЯ во время грозы отмечены на МС Шилово 26.04.2018 г. наблюдался шквал и ливень, максимальная скорость ветра составила 18 м/с. 24.06.2019 г. наблюдался ливень

за 25 минут осадков выпало 26,9 мм. 24.06.2019 г. наблюдался ливень за 2 часа 45 минут осадков выпало 15,0 мм. 24.07.2019 г. наблюдался ливень за 1 час осадков выпало 15,0 мм. 04.07.2020 г. наблюдался ливень за 2 часа осадков выпало 19,7 мм, также наблюдался шквал и град. 14.07.2020 г. наблюдался ливень за 9 минут осадков выпало 16,3 мм, также наблюдался шквал с максимальной скоростью ветра 21 м/с. 02.08.2020 г. наблюдался ливень за 1 час 20 минут осадков выпало 16,0 мм. 12.06.2021 г. наблюдался ливень за 1 час осадков выпало 18,9 мм.

Из вышеприведённых таблиц и рисунков, видно, что наиболее частым явлением во время грозы является ливень, меньшая повторяемость у шквала, но реже всего наблюдался град. В отдельных случаях наблюдался комплекс этих явлений.

3.8. Типовые синоптические ситуации при грозах

Далее, для анализа наиболее характерных для гроз условий, был отобран архив синоптических ситуаций за выбранный период времени. Рассмотрев все случаи, были выбраны типовые синоптические ситуации при возникновении гроз и рассчитана их повторяемость. Результаты систематизированы и представлены ниже в Таблице 3.8.1 и на Рисунке 3.8.1.

Таблица 3.8.1 – Типовые синоптические ситуации при возникновении гроз

Синоптические ситуации	Количество случаев	Повторяемость, %
Теплый фронт	16	9
Холодный фронт	25	13
Холодный фронт с волнами	23	12
Фронт окклюзии	43	23
Теплый сектор	25	13
Малогradientное поле давления	31	16
Тыл циклона	15	8
Центр циклона	12	6

Из Таблицы 3.8.1 можно увидеть, что из 190 случая грозовой деятельности фронтальные грозы наблюдались на теплом (16 случаев) и холодном (48 случаев) фронтах, а также фронте окклюзии (43 случая).

Внутримассовые грозы наблюдались в таких синоптических ситуациях, как теплый сектор (25 случаев), центр циклона (12 случаев), тыл циклона (15 случаев) и малоградиентное поле давления (31 случай).

Ниже на Рисунке 3.8.1 представлена их повторяемость.

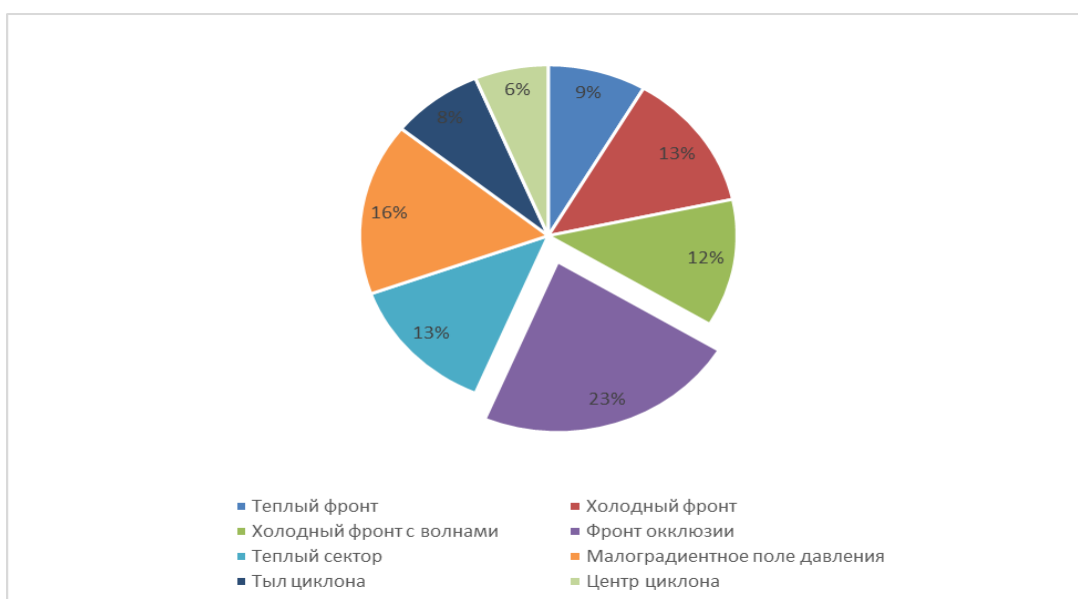


Рисунок 3.8.1 - Повторяемость типовых синоптические ситуации при возникновении гроз

По Рисунку 3.8.1 можно наблюдать процентное соотношение случаев в различных синоптических ситуациях. Видно, что наибольшую часть диаграммы, а, следовательно, и большую повторяемость случаев имеет синоптическая ситуация – фронт окклюзии (23%). Второе место по повторяемости занимает малоградиентное поле давления (16 %). Наименьшую часть диаграммы, а, следовательно, и меньшую повторяемость случаев имеет синоптическая ситуация – центр циклона (6 %).

Рассмотрим соотношение фронтальных и внутримассовых гроз за период 2017 – 2021 гг. Для этого, вычислив суммарное количество обоих типов гроз, была составлена диаграмма, представленная на Рисунке 3.8.2.

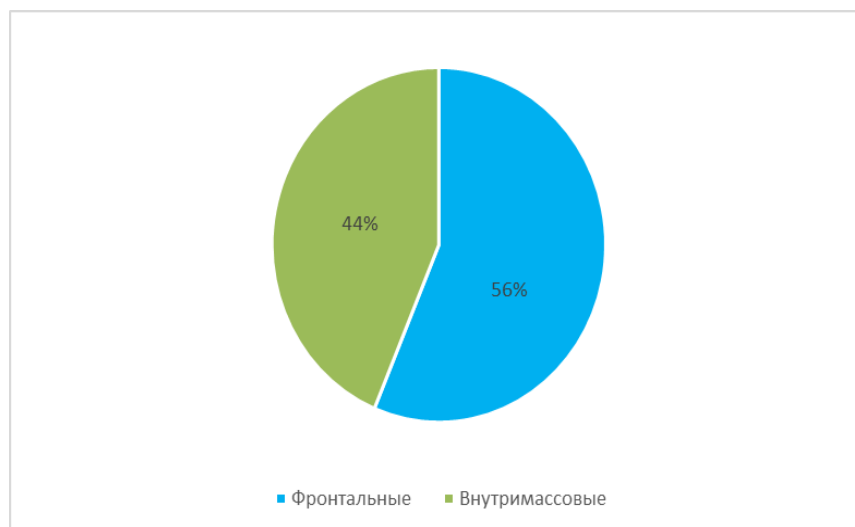


Рисунок 3.8.2 – Соотношение фронтальных и внутримассовых гроз

Из диаграммы явно видно, что процент фронтальных гроз является наибольшим, он составляет 56%. Это является наиболее часто встречающейся ситуацией. Это можно обосновать тем, что внутримассовые грозы имеют очаговый характер, а фронтальные подразумевают собой большую горизонтальную протяженность и, следовательно, одна и та же гроза может наблюдаться на нескольких станциях.

Рассмотрим синоптические карты погоды с повторяющимися синоптическими ситуациями, при которых образовывались фронтальные грозы, а конкретней холодный фронт с волнами (Рисунок 3.8.3), теплый фронт (Рисунок 3.8.4), холодный фронт (Рисунок 3.8.5) и фронт окклюзии (Рисунок 3.8.6).

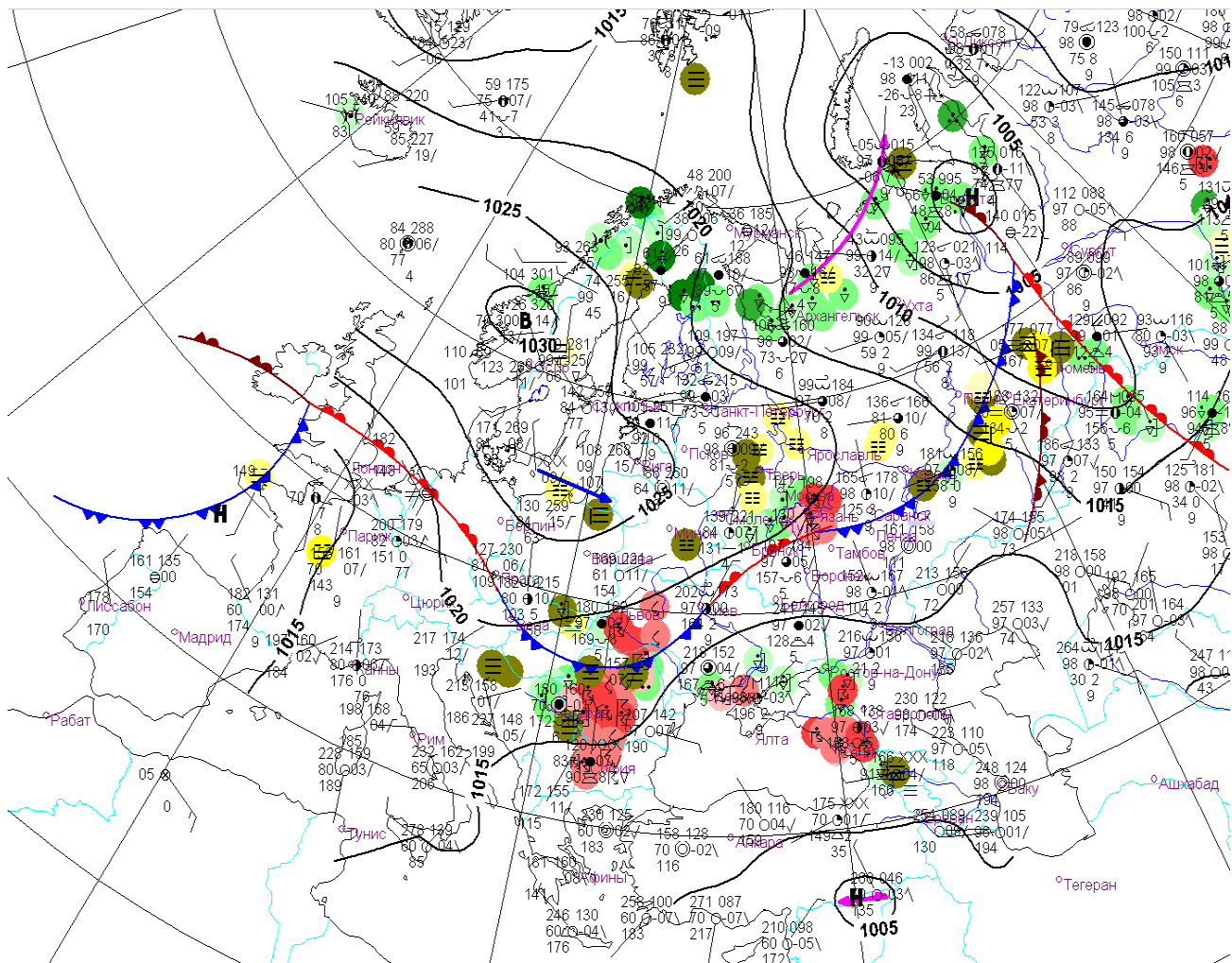


Рисунок 3.8.3 – Приземная карта за 10.05.2019 г. 00 UTC

(Холодный фронт с волнами)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 10.05.2019 г. над территорией Рязанской области наблюдалось прохождение холодного фронта с волнами. Эта картина весьма выражена. Исходя из этого, можно сказать, что над областью наблюдались фронтальные грозы.

Обострялись в ночное время на тёплом участке.

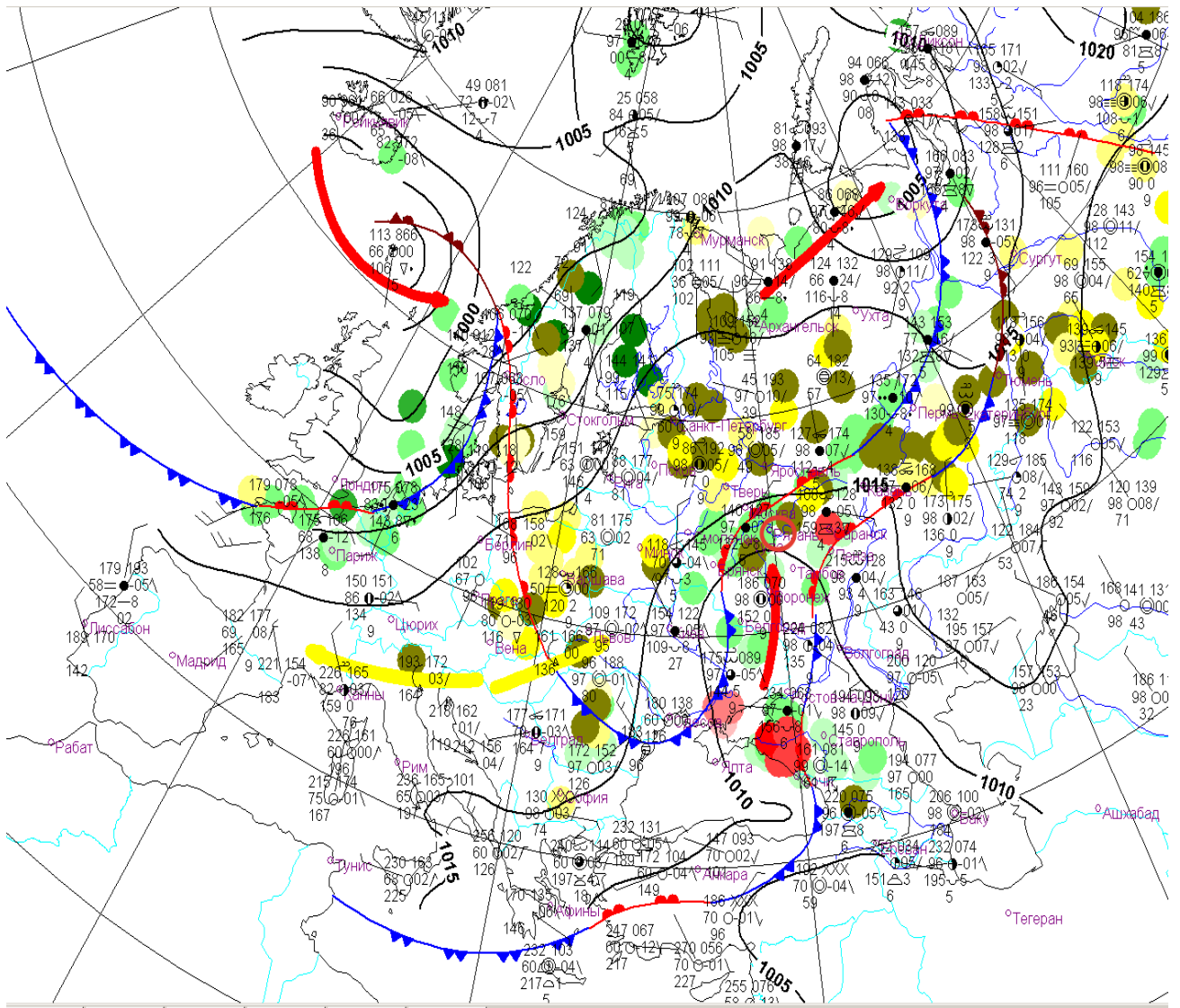


Рисунок 3.8.4 – Приземная карта за 17.08.2019 г. 00 UTC
(Теплый фронт)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 17.08.2019 г. над территорией Рязанской области наблюдалось прохождение теплого фронта. Эта картина весьма выражена. Исходя из этого, можно сказать, что над областью наблюдались фронтальные грозы. Ночные грозы на тёплом фронте.

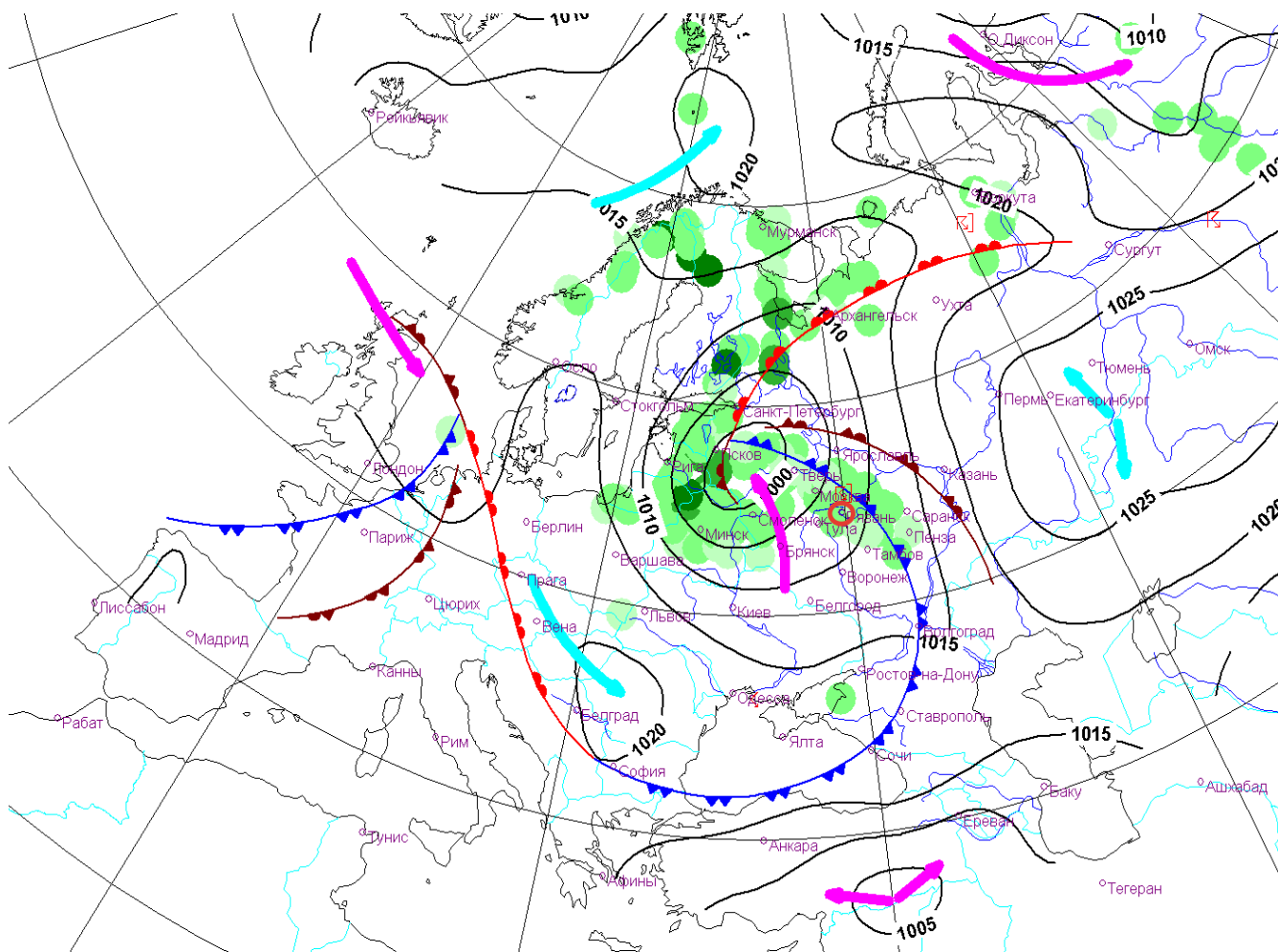


Рисунок 3.8.5 – Приземная карта за 24.08.2017 г. 00 UTC
(Холодный фронт)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 24.08.2017 г. над территорией Рязанской области наблюдалось прохождение холодного фронта. Эта картина весьма выражена. Исходя из этого, можно сказать, что над областью наблюдались фронтальные грозы. Грозы начались ночью в тёплом секторе циклона и наблюдались на фронте окклюзии и, затем, на холодном фронте.

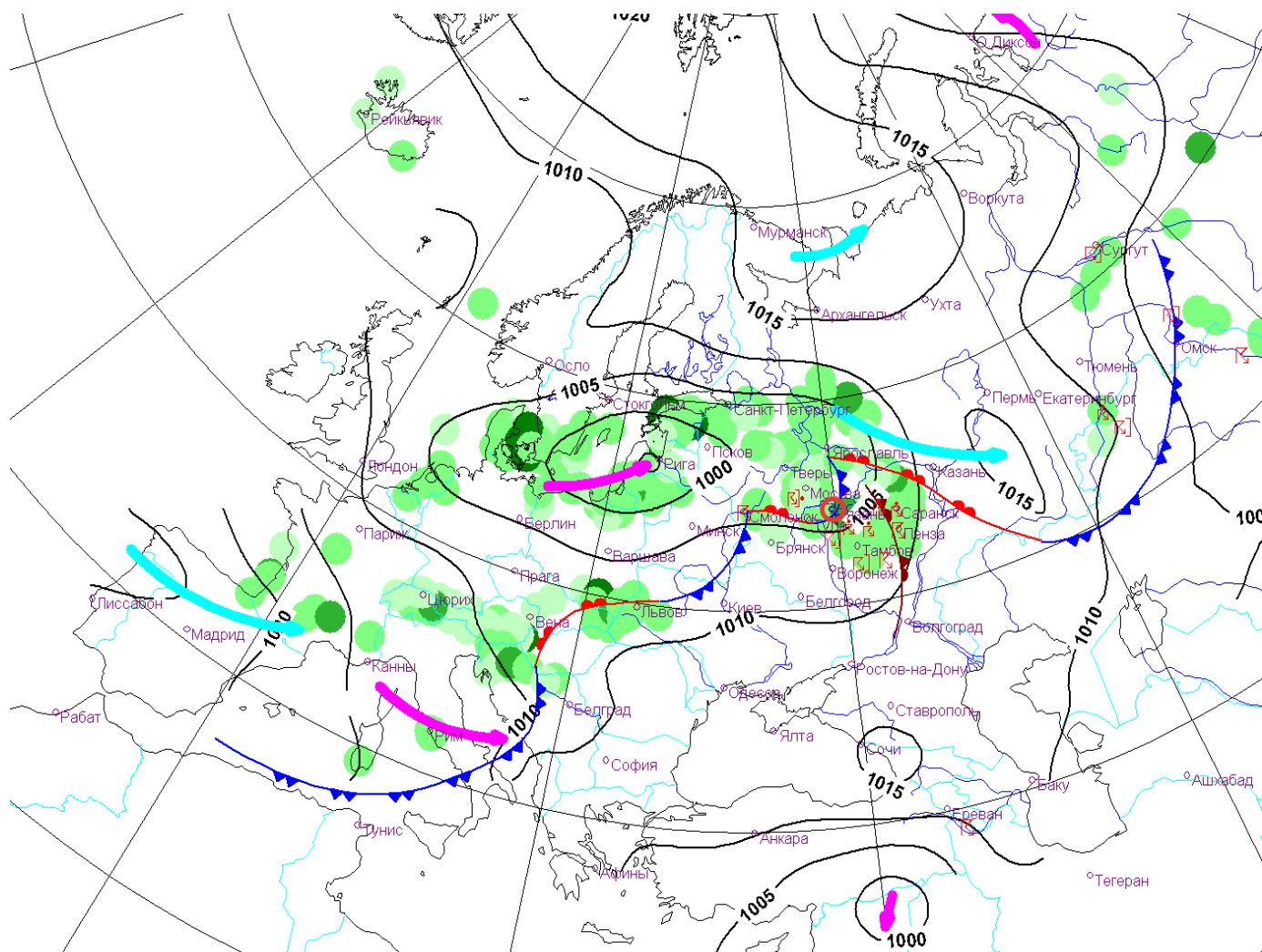


Рисунок 3.8.6 – Приземная карта за 01.07.2017 г. 00 UTC
(Фронт окклюзии)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 01.07.2017 г. над территорией Рязанской области наблюдалось прохождение фронта окклюзии (внутри тёплого сектора циклона). Исходя из этого, можно сказать, что над областью наблюдались фронтальные грозы.

Далее рассмотрим синоптические карты с наиболее часто повторяющимися синоптическими ситуациями, при которых образовывались внутримассовые грозы, а конкретней, теплый сектор (Рисунок 3.8.7) и малоградиентное поле давления (Рисунок 3.8.8).

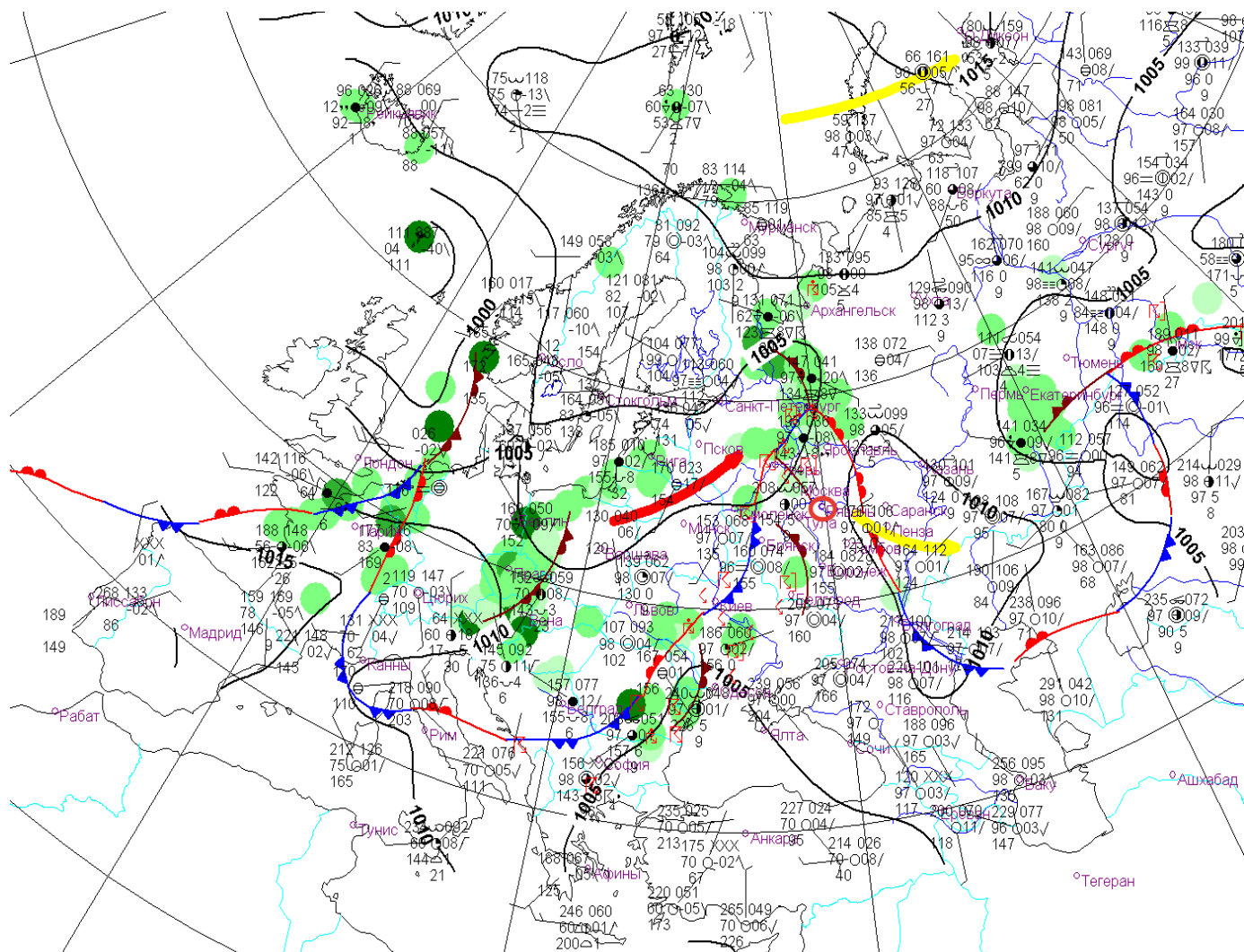


Рисунок 3.8.7 – Приземная карта за 27.07.2017 г. 00 UTC
(Теплый сектор)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 27.07.2017 г. территория Рязанской области находилась в зоне теплого сектора. В течение дня над областью наблюдались внутримассовые грозы.

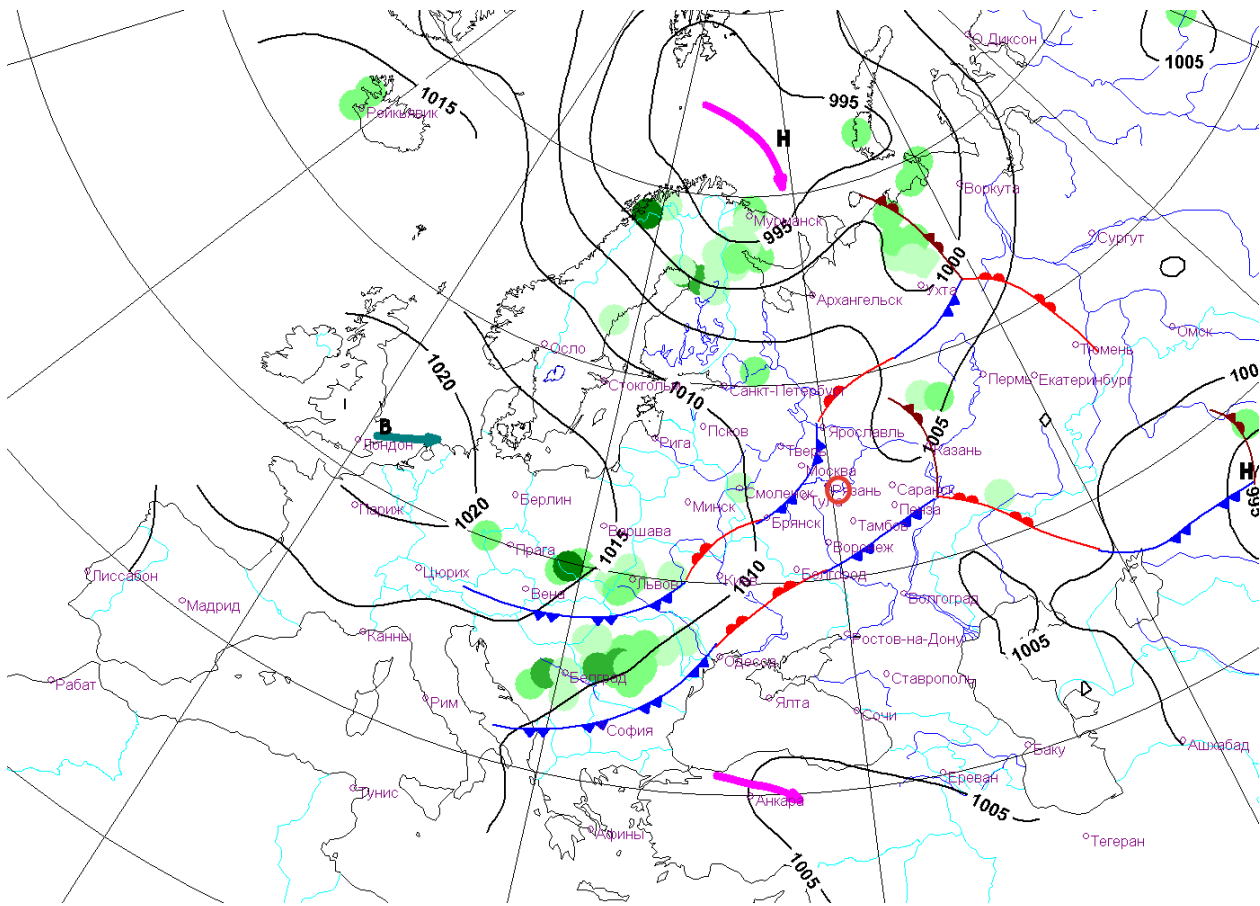


Рисунок 3.8.8 – Приземная карта за 20.07.2021 г. 00 UTC
(Малоградиентное поле давления)

Представленная синоптическая ситуация показывает, что 20.07.2021 г. территория Рязанской области находилась в зоне малоградиентного поля давления. В течение дня над областью наблюдались внутримассовые грозы.

3.9. Прогнозирование гроз по индексам конвективной неустойчивости

На данном этапе работы было принято решение рассмотреть оправдываемость различных методов прогнозирования на каждой вышеперечисленных станций, а именно, оценить успешность индексов конвективной неустойчивости таких как: Showalter, Lifted, SWEAT, Ki, Cross Totals, Vertical Totals, Totals totals, CAPE и CINS. Были использованы данные радиозондирования для каждого случая. Для всех станций индексы неустойчивости рассчитаны по одной МС - АЭ Рязань, так как зонд выпускается на этой станции по всей Рязанской области.

В Приложение А, в таблице 2 приведена рабочая таблица по МС Тума. По каждой станции выбирался тот индекс, который по своим критериям

(величине) прогнозировал грозу. Далее, были подсчитаны случаи успешных прогнозов по каждому индексу и рассчитана общая оправдываемость каждого отдельно по сезону и в целом за период. Далее, в таблицах 3.9.1-3.9.5 и в графическом виде на рисунках 3.9.1-3.9.5 представлены результаты систематизации и анализа. Наиболее успешные индексы (с оправдываемостью более 75%) выделены синим цветом.

Рассмотрим оправдываемость вышеперечисленных индексов неустойчивости на МС Тума за период 2017-2021 гг.

Таблица 3.9.1. Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на МС Тума

Индекс	Showalter	Lifted	SWEAT	Ki	Cross Totals	Vertical Totals	Totals totals	CAPE	CINS
Весна	73,9	47,8	0,0	73,9	82,6	56,5	82,6	4,0	91,3
Лето	59,5	48,8	6,0	91,7	75,0	26,2	78,6	6,0	94,0
Осень	100	50,0	50,0	100	100	100	100	50,0	50,0
Всего	63,3	48,6	5,5	88,1	77,1	33,9	79,8	6,4	92,7

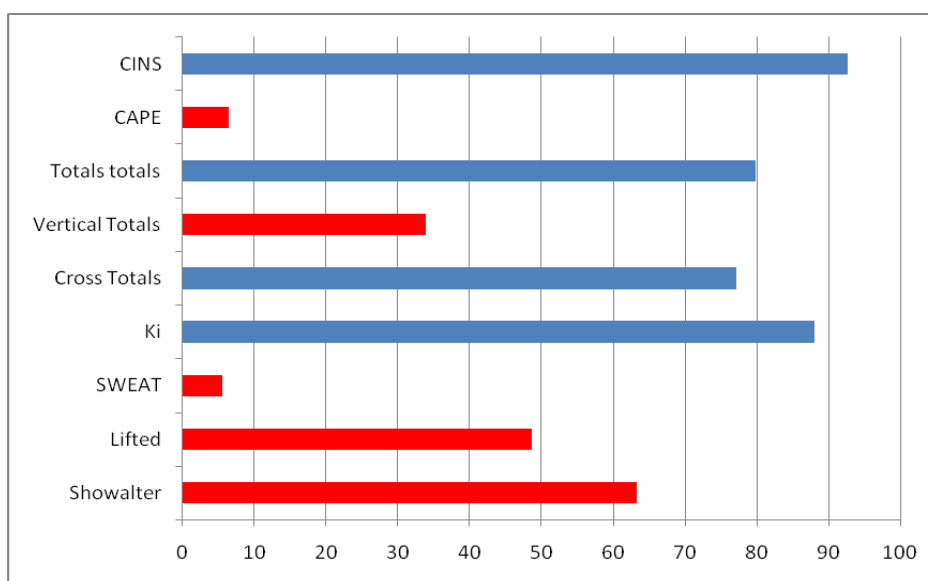


Рисунок 3.9.1 – Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на МС Тума

Исходя из таблицы 3.9.1 и гистограммы рисунка 3.9.1 можно сказать, что индексы Showalter и Vertical Totals на гистограмме рисунка 3.9.1 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов, меньше

установленных 75 %. Однако осенью оправдываемость высокая (100 %), так как в этот период года наблюдалось мало гроз.

Индексы Lifted, SWEAT и CAPE на гистограмме рисунка 3.9.1 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше установленных 75 %.

Индекс CINS на гистограмме рисунка 3.9.1 и в таблице 3.9.1 выделен синим цветом, т.е. оправдываемость индекса выше установленных 75 %, но можно заметить, что осенью оправдываемость индекса 50 %.

Также по данным таблицы 3.9.1 и гистограммы рисунка 3.9.1 следует отметить, что индексы Ki, Cross Totals и Totals totals выделены синим цветом, т.е. оправдываемость данных индексов выше установленных 75 %, однако осенью оправдываемость составляет 100 %, так как в этот период года наблюдалось мало гроз.

Рассмотрим оправдываемость вышеперечисленных индексов неустойчивости на МС Ряжск за период 2017-2021 гг.

Таблица 3.9.2. Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на МС Ряжск

Индекс	Showalter	Lifted	SWEAT	Ki	Cross Totals	Vertical Totals	Totals totals	CAPE	CINS
Весна	59,3	33,8	11,1	63,0	85,2	44,2	81,5	3,7	96,3
Лето	51,0	40,8	4,1	85,7	79,6	11,2	69,4	3,1	89,8
Осень	16,7	0,0	16,7	50,0	16,7	16,7	16,7	0,0	100
Всего	51,1	37,4	6,1	79,4	77,1	18,3	69,5	3,1	91,6

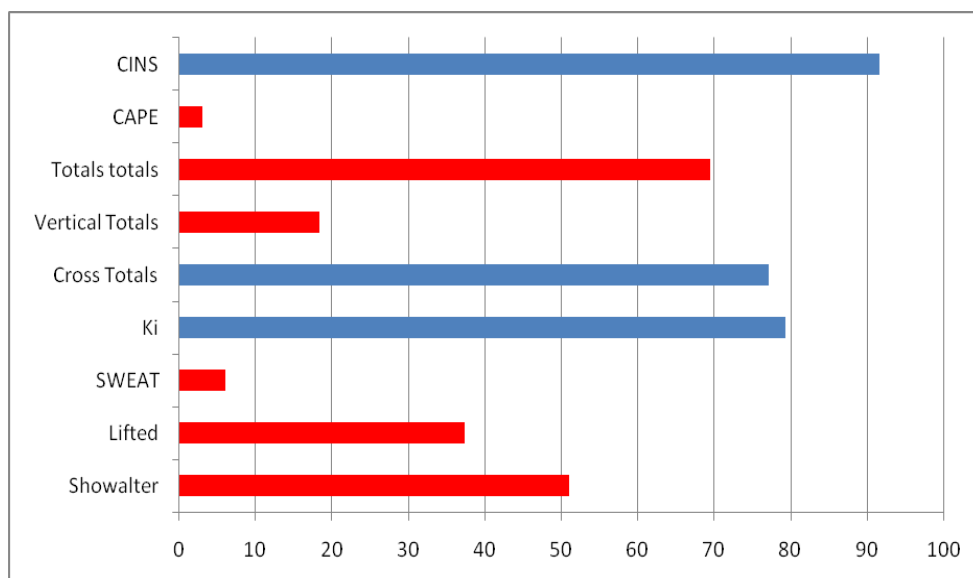


Рисунок 3.9.2 – Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на МС Рязжск

Исходя из таблицы 3.9.2 и гистограммы рисунка 3.9.2 можно сказать, что индексы Showalter, Lifted, SWEAT, Vertical Totals, Totals totals и CAPE на гистограмме рисунка 3.9.2 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше установленных 75 %.

Индексы Ki и Cross Totals на гистограмме рисунка 3.9.2 выделены синим цветом, т.е. оправдываемость данных индексов выше установленных 75 %, однако можно заметить, что у индекса Ki весной и осенью низкая оправдываемость, т.е. меньше установленных 75 %. Однако обратим внимание, что индекс Cross Totals также имеет осенью низкую оправдываемость, т.е. меньше установленных 75 %.

Индекс CINS на гистограмме рисунка 3.9.2 и в таблице 3.9.2 выделен синим цветом, т.е. оправдываемость индекса выше установленных 75 %, но можно заметить, что осенью оправдываемость индекса 100 %, так как в этот период года наблюдалось мало гроз.

Рассмотрим оправдываемость вышеперечисленных индексов неустойчивости на АМСГ Сасово за период 2017-2021 гг.

Таблица 3.9.3. Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на АМСГ Сасово

Индекс	Showalter	Lifted	SWEAT	Ki	Cross Totals	Vertical Totals	Totals totals	CAPE	CINS
Весна	67,9	42,9	7,1	78,6	85,7	42,9	85,7	7,1	96,4
Лето	49,0	41,2	3,9	82,4	77,5	16,7	65,7	5,9	93,1
Осень	0,0	0,0	12,5	75,0	37,5	0,0	12,5	0,0	75,0
Всего	50,0	39,1	5,0	81,6	76,8	21,0	66,7	5,8	92,8

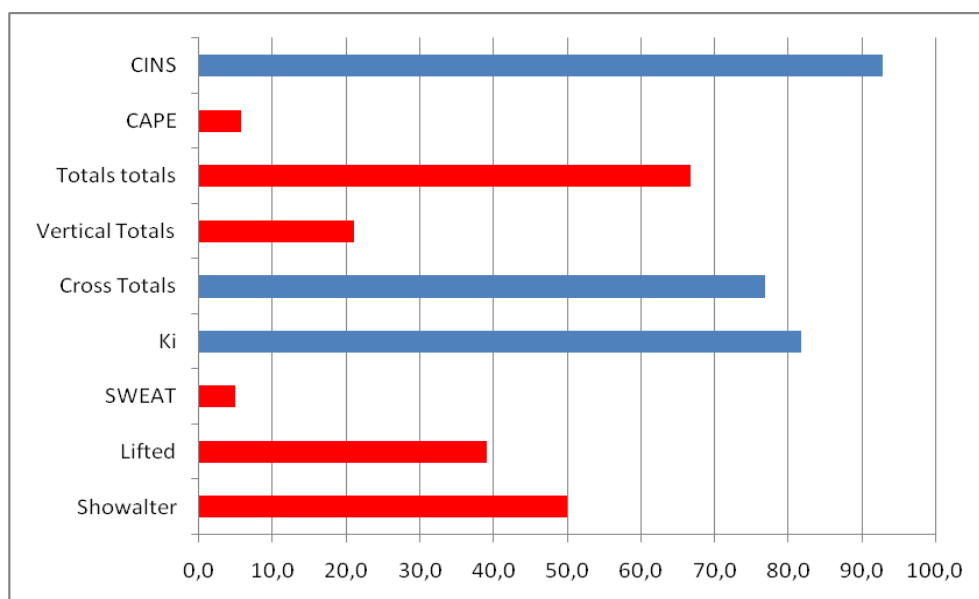


Рисунок 3.9.3 – Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на АМСГ Сасово.

Исходя из таблицы 3.9.3 и гистограммы рисунка 3.9.3 можно сказать, что индексы Showalter, Lifted, SWEAT, Vertical Totals и CAPE на гистограмме выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше установленных 75 %.

Индексы Ki, Cross Totals и CINS на гистограмме рисунка 3.9.3 и в таблице 3.9.3 выделены синим цветом, т.е. оправдываемость индекса выше установленных 75 %, однако можно заметить, что осенью индекс Cross Totals имеет оправдываемость меньше установленных 75 %.

Индекс Totals totals на гистограмме рисунка 3.9.3 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше

установленных 75 %. Однако весной оправдываемость высокая (85,7 %), так как в этот период года наблюдалось мало гроз.

Рассмотрим оправдываемость вышеперечисленных индексов неустойчивости на АЭ Рязань за период 2017-2021 гг.

Таблица 3.9.4. Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на АЭ Рязань

Индекс	Showalter	Lifted	SWEAT	Ki	Cross Totals	Vertical Totals	Totals totals	CAPE	CINS
Весна	65,0	45,0	15,0	70,0	80,0	55,0	75,0	10,0	90,0
Лето	51,0	52,6	6,6	85,5	79,0	14,5	73,7	10,5	94,7
Осень	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0	100
Всего	62,2	50,0	8,2	80,6	78,6	22,5	73,5	10,2	93,9

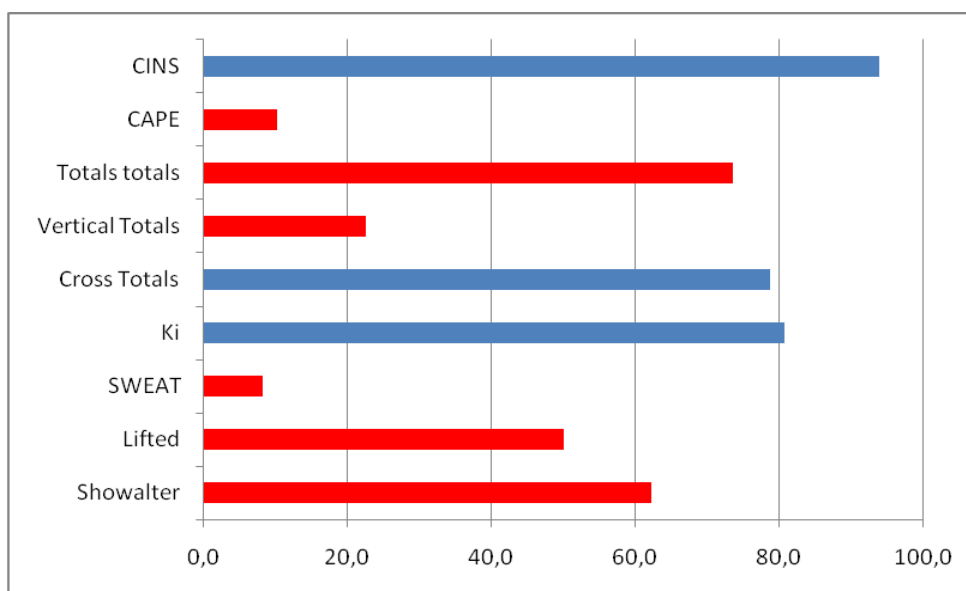


Рисунок 3.9.4 – Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на АЭ Рязань

Исходя из таблицы 3.9.4 и гистограммы рисунка 3.9.4 можно сказать, что индексы Showalter, Lifted, SWEAT, Vertical Totals и CAPE на гистограмме рисунка 3.9.4 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше установленных 75 %.

Индексы Ki, Cross Totals и CINS на гистограмме рисунка 3.9.4 и в таблице 3.9.4 выделен синим цветом, т.е. оправдываемость индекса выше установленных 75 %, однако можно заметить, что осенью индексы Ki и Cross

Totals имеет оправдываемость меньше установленных 75 %. Также обратим внимание, что индекс Ki имеет весной низкую оправдываемость, т.е. меньше установленных 75 %.

Индекс Totals totals на гистограмме рисунка 3.9.4 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше установленных 75 %. Однако весной оправдываемость высокая (75 %), так как в этот период года наблюдалось мало гроз.

Рассмотрим оправдываемость вышеперечисленных индексов неустойчивости на МС Шилово за период 2017-2021 гг.

Таблица 3.9.5. Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на МС Шилово

Индекс	Showalter	Lifted	SWEAT	Ki	Cross Totals	Vertical Totals	Totals totals	CAPE	CINS
Весна	66,7	33,3	12,5	79,2	83,3	41,7	83,3	4,0	100
Лето	51,0	45,0	2,0	89,0	82,0	22,0	77,0	3,8	94,3
Осень	50,0	25,0	50,0	100	75,0	50,0	50,0	25,0	100
Всего	53,9	42,3	5,5	87,5	82,0	26,6	77,3	4,5	96,2

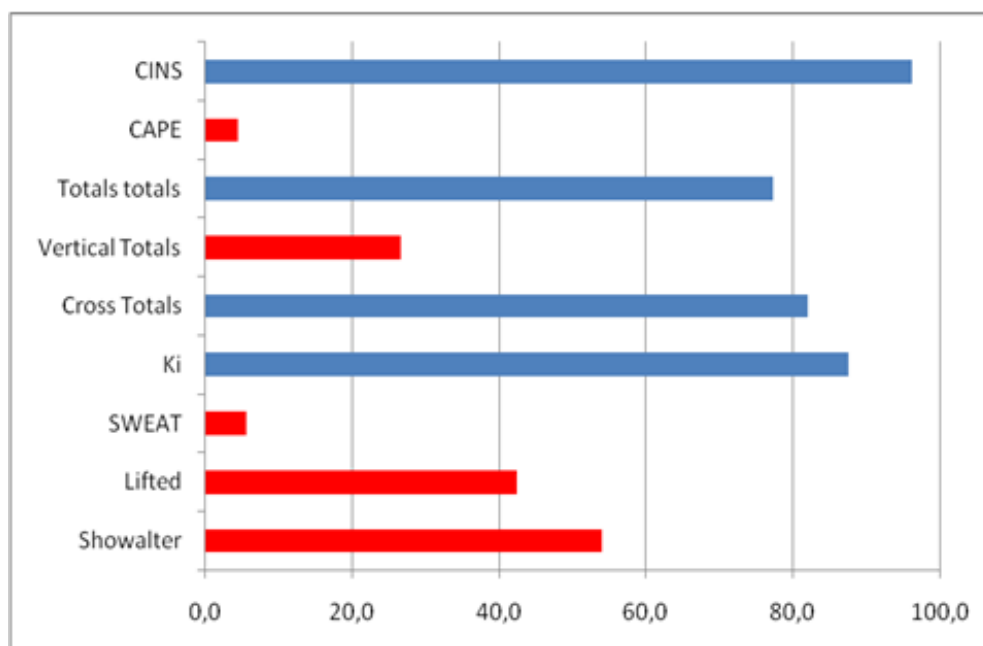


Рисунок 3.9.5 – Оправдываемость прогноза грозы по индексам конвективной неустойчивости на МС Шилово

Исходя из таблицы 3.9.5 и гистограммы рисунка 3.9.5 можно сказать, что индексы Showalter, Lifted, SWEAT, Vertical Totals и CAPE на гистограмме рисунка 3.9.5 выделены красным цветом, т.е. оправдываемость данных индексов очень низкая, меньше установленных 75 %.

Индексы Ki, Cross Totals, Totals totals и CINS на гистограмме рисунка 3.9.5 и в таблице 3.9.5 выделен синим цветом, т.е. оправдываемость индекса выше установленных 75 %, однако можно заметить, что осенью индекс Totals totals имеет оправдываемость меньше установленных 75 %.

По результатам всех исследований можно сделать вывод, что индексы Ki, Cross Totals и CINS оправдывается и является более точными (оправдывается от 78,3 % до 93,4 %), а индексы Showalter, Lifted, SWEAT, Vertical Totals, Totals totals и CAPE имеет самую маленькую оправдываемость прогнозов (оправдывается от 6 % до 73,4%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы были выполнены все задачи.

- подготовлен исходный материал для систематизации и анализа;

Для решения поставленной задачи были использованы данные наблюдательной сети Рязанского ЦГМС – филиала ФГБУ «Центральное УГМС» за 2017-2021 гг., архив синоптических приземных карт и данных дистанционного зондирования атмосферы на станции АЭ Рязань.

-определены основные характеристики наблюдавшихся гроз;

Наибольшее количество случаев грозовой деятельности пришлось на летний период. Самое большое число наблюдавшихся случаев гроз за период 2017-2021 гг. пришлось на июнь и июль, в самых редких случаях наблюдались грозы в сентябре и октябре.

Самым частым сопутствующим явлением при грозе является ливень, меньшим всего шквал, но реже всего наблюдался град. В отдельных случаях наблюдался комплекс этих явлений. Повторяемость имеет продолжительность от 1 часа до 3 часов, а самым наименьшим является интервал «3 часа и более».

- определены синоптические ситуации при грозах;

Наиболее частой синоптической ситуацией является фронт окклюзии (23%). Второе место по повторяемости занимает малоградиентное поле давления (16 %).

Чаще наблюдаются фронтальные грозы (56%).

- выявлены наиболее успешные индексы конвективной неустойчивости для территории Рязанской области.

Лучшую оправдываемость показали индексы K_i и CINS, в летний и осенний период высокая оправдываемость, а индекс Cross Totals может использоваться при прогнозе гроз по территории области как дополнительный, самая наименьшая оправдываемость данного индекса 16,7% в осенний период времени.

Полученные в ходе работы результаты систематизации наблюдавшихся гроз в период 2017-2021гг. на территории Рязанской области могут послужить справочным материалом для анализа изменений повторяемости гроз в более длительном периоде.

Полученные выводы по наиболее успешным индексам конвективной неустойчивости для территории Рязанской области можно использовать в ежедневной синоптической практике как дополнительный предиктор при прогнозе гроз.

Список использованных источников

1. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика Атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 1965. – 876 с.;
2. Позднякова В.А. «Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для летного и диспетчерского состава ГА» учебник - Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. — 113 с.;
3. Богаткин О. Г. Авиационные прогнозы погоды. – СПб.: изд. «БХВ-Петербург». – 2010. – 206-207 с.;
4. РД 52.27.724 - 2019 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» - Москва ФГБУ «Гидрометцентр России»
5. РД 52.04.563 - 2013 «Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями» - Санкт – Петербург;
6. Инструкционный материал по SIGMET и AIRMET – Москва, 2015 год;
7. Инструкционный материал по METAR, SPECI и TAF – Москва, 2015 год
8. Flymeteo [Электронный ресурс]; Режим доступа: <https://flymeteo.org/star/indexneust.php>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз.рус.
9. Университет Вайоминга [Электронный ресурс]; Режим доступа: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз.рус.

Таблица 1 – Исходные данные, МС Тума, период 2017-2021 гг.

Дата	Явление	Продолжительность	Син.ситуация
08.04.2017	Ливень	0:59	Теплый фронт
29.05.2017	Ливень,шквал	1:16	Тёплый фронт, тёплый сектор, в конце дня хол.фронт
29.05.2017	Ливень	0:22	Тёплый фронт, тёплый сектор, в конце дня хол.фронт
18.06.2017	Ливень	0:43	Фронт окклюзии
19.06.2017	Ливень	0:17	Холодный фронт с волнами
23.06.2017	Ливень	0:24	Холодный фронт с волнами
30.06.2017	Ливень	2:49	Теплый фронт
01.07.2017	Ливень	0:21	Фронт окклюзии
02.07.2017- 03.07.2017	Ливень	6:55	Фронт окклюзии
03.07.2017	Ливень	3:00	Холодный фронт
14.07.2017	Ливень	2:19	Теплый сектор
16.07.2017	Ливень	0:25	Холодный фронт
16.07.2017	Ливень	1:10	Холодный фронт
17.07.2017	Ливень	0:40	Холодный фронт
21.07.2017	Ливень	0:43	Малоград.поле пониж.давл.
23.07.2017	Ливень	0:20	Холодный фронт с волнами
23.07.2017	Ливень	0:35	Холодный фронт с волнами
23.07.2017	Ливень	0:20	Холодный фронт с волнами
30.07.2017	Ливень	1:12	Теплый сектор
03.08.2017		0:56	Холодный фронт с волнами
14.08.2017	Ливень	0:38	Холодный фронт с волнами
15.08.2017	Ливень	1:13	Холодный фронт с волнами
24.08.2017	Ливень	0:25	Холодный фронт, тыл циклона
18.09.2017	Ливень	1:05	Холодный фронт
21.04.2018	Ливень, шквал (15 м/с)	0:25	Холодный фронт
26.04.2018	Ливень, шквал (15 м/с)	0:21	Фронт окклюзии
06.05.2018	Ливень	0:43	Теплый фронт
15.05.2018	Ливень	1:11	Малоград.поле давл.
30.06.2018	Ливень	0:38	Теплый сектор
01.07.2018		0:37	Теплый сектор
01.07.2018		1:02	Теплый сектор
06.07.2018	Ливень	0:40	Теплый сектор
08.07.2018	Ливень	2:01	Тыл циклона
08.07.2018	Ливень	2:25	Тыл циклона
09.07.2018	Ливень	0:30	Тыл циклона
09.07.2018		0:49	Тыл циклона

Продолжение Таблицы 1

17.07.2018		0:47	Фронт окклюзии
17.07.2018	Ливень, шквал	2:18	Фронт окклюзии
18.07.2018	Ливень	0:41	Фронт окклюзии
28.07.2018	Ливень	1:52	Фронт окклюзии
28.07.2018	Ливень	1:43	Фронт окклюзии
04.08.2018		1:07	Малоград.поле давл.
06.08.2018		0:27	Теплый сектор
07.08.2018	Ливень	0:29	Холодный фронт
08.08.2018		1:00	Тыл циклона
15.08.2018	Ливень	0:56	Холодный фронт
15.08.2018	Ливень	2:33	Холодный фронт
16.08.2018	Ливень	0:30	Тыл циклона
21.08.2018	Ливень	1:26	Фронт окклюзии
21.08.2018	Ливень	1:13	Фронт окклюзии
31.08.2018		0:30	Теплый фронт
05.05.2019	Ливень	0:30	Холодный фронт с волнами
09.05.2019		0:15	Теплый фронт, теплый сектор
09.05.2019	Ливень	1:20	Теплый фронт, теплый сектор
13.05.2019	Ливень	1:10	Теплый сектор
13.05.2019- 14.05.2019	Ливень	4:10	Теплый сектор
14.05.2019	Ливень	1:46	Теплый сектор
16.05.2019		1:57	Тыл циклона
23.05.2019	Ливень, шквал (16 м/с)	0:50	Теплый сектор
31.05.2019	Ливень	2:52	Малоград.поле давл.
09.06.2019	Ливень	1:49	Малоград.поле давл.
24.06.2019	Ливень	2:29	Фронт окклюзии
09.07.2019	Ливень	1:15	Холодный фронт
09.07.2019	Ливень	1:40	Холодный фронт
09.07.2019		2:50	Холодный фронт
16.08.2019	Ливень (18 мм/5 часов)	3:01	Теплый фронт
05.06.2020	Ливень	0:27	Фронт окклюзии
12.06.2020	Ливень	3:29	Холодный фронт с волнами
13.06.2020	Ливень	1:55	Фронт окклюзии
18.06.2020	Ливень	0:48	Малоград.поле давл.
20.06.2020	Ливень	3:42	Малоград.поле давл.
28.06.2020	Ливень	1:37	Холодный фронт с волнами
03.07.2020- 04.07.2020	Ливень	0:54	Малоград.поле давл.
04.07.2020	Ливень	0:37	Малоград.поле давл.
04.07.2020	Ливень	1:23	Малоград.поле давл.

Продолжение Таблицы 1

09.07.2020	Ливень	0:18	Холодный фронт с волнами
14.07.2020	Ливень	1:42	Теплый фронт
21.07.2020	Ливень	0:41	Холодный фронт
22.07.2020	Ливень	1:45	Фронт окклюзии
11.08.2020		0:33	Центр циклона
02.04.2021	Ливень	0:30	Центр циклона
19.05.2021		1:13	Теплый сектор
19.05.2021	Ливень	0:49	Теплый сектор
27.05.2021	Ливень	0:46	Малоград.поле давл.
29.05.2021		1:30	Холодный фронт с волнами
29.05.2021	Ливень	1:53	Холодный фронт с волнами
29.05.2021	Ливень	2:00	Холодный фронт с волнами
06.06.2021	Ливень	0:41	Фронт окклюзии
06.06.2021	Ливень	1:29	Фронт окклюзии
07.06.2021		0:59	Фронт окклюзии
08.06.2021	Ливень	0:55	Фронт окклюзии
08.06.2021	Ливень	1:58	Фронт окклюзии
11.06.2021	Ливень(20 мм/2:40)	1:42	Теплый фронт
12.06.2021	Ливень	3:19	Малоград.поле давл.
13.06.2021	Ливень	1:45	Малоград.поле давл.
26.06.2021		2:15	Малоград.поле давл.
28.06.2021	Ливень	0:26	Центр циклона
28.06.2021	Ливень	1:31	Центр циклона
10.07.2021	Ливень	1:35	Малоград.поле давл.
14.07.2021		0:19	Малоград.поле давл.
14.07.2021		0:23	Малоград.поле давл.
15.07.2021		1:20	Малоград.поле давл.
16.07.2021		0:53	Малоград.поле давл.
30.07.2021	Ливень	3:30	Холодный фронт с волнами
12.08.2021	Ливень	1:15	Малоград.поле давл.
18.08.2021	Ливень	2:02	Фронт окклюзии
18.08.2021- 19.08.2021	Ливень	3:10	Фронт окклюзии
21.08.2021	Ливень (45.6 мм/7:20), град	3:25	Центр циклона
01.09.2021	Ливень	1:05	Теплый сектор

Таблица 2 – Анализ индексов конвективной неустойчивости, МС Тума,
период 2017-2021 гг.

Дата	Showalter	Lifted	SWEAT	Ki	Cross Totals	Vertical Totals	Totals totals	CAPE	CINS
08.04.2017	8,03	10,17	69,93	18,20	21,20	23,40	44,60	0,00	0,00
29.05.2017	12,56	12,92	101,01	14,00	15,10	19,60	34,70	0,00	0,00
29.05.2017	12,56	12,92	101,01	14,00	15,10	19,60	34,70	0,00	0,00
18.06.2017	3,91	2,98	46,62	22,30	18,30	28,30	46,60	0,11	-112,33
19.06.2017	5,39	1,69	78,04	12,90	17,90	25,90	43,80	0,03	-142,58
23.06.2017	3,50	1,40	74,45	23,10	22,60	27,50	50,10	62,23	-8,13
30.06.2017	-	-	-	-	-	-	-	55,73	0,00
01.07.2017	1,74	-1,51	181,35	25,70	21,30	27,30	48,60	224,86	-17,23
02.07.2017- 03.07.2017	3,03	1,85	145,13	29,10	22,10	23,50	45,60	43,07	-31,77
03.07.2017	1,34	-3,36	166,27	28,30	22,70	26,50	49,20	979,72	0,00
14.07.2017	2,29	-1,70	165,58	30,80	20,10	26,10	46,20	546,44	-39,35
16.07.2017	1,99	-1,25	172,21	28,70	20,50	25,50	46,00	526,30	-2,35
16.07.2017	4,65	3,17	139,99	26,70	19,70	23,30	43,00	0,00	0,00
17.07.2017	3,91	1,62	89,99	25,80	21,20	24,90	46,10	39,84	-34,94
21.07.2017	0,99	-2,92	241,45	27,20	23,20	26,70	49,90	747,27	-1,32
23.07.2017	3,99	0,02	73,82	18,50	17,90	28,90	46,80	95,01	-32,70
23.07.2017	3,99	0,02	73,82	18,50	17,90	28,90	46,80	95,01	-32,70
23.07.2017	3,99	0,02	73,82	18,50	17,90	28,90	46,80	95,01	-32,70
30.07.2017	-	-0,24	-	-	-	-	-	40,62	-92,01
03.08.2017	2,45	-0,67	201,58	28,70	18,70	24,70	43,40	496,21	-18,49
14.08.2017	2,98	0,02	117,14	26,70	18,50	26,50	45,00	76,89	-70,40
15.08.2017	-0,21	-1,93	146,85	33,70	22,40	27,10	49,50	437,39	-85,07
24.08.2017	4,29	2,36	177,52	28,30	20,20	23,10	43,30	69,61	-18,06
18.09.2017	0,90	0,88	173,12	25,70	18,50	30,50	49,00	6,21	-392,34
21.04.2018	5,19	3,70	172,09	19,60	24,80	26,20	51,00	24,01	0,00
26.04.2018	2,70	-0,90	171,75	23,40	23,90	27,50	51,40	269,57	-4,14
06.05.2018	0,65	1,17	166,85	29,20	22,50	29,50	52,00	0,00	-409,49
15.05.2018	2,79	-0,90	94,05	28,30	21,90	25,90	47,80	360,38	-5,68
30.06.2018	-0,22	-0,52	197,59	30,30	20,50	27,50	48,00	565,71	-246,20
01.07.2018	-0,70	-3,04	218,39	32,50	22,10	28,10	50,20	598,47	-31,91
01.07.2018	-0,70	-3,04	218,39	32,50	22,10	28,10	50,20	598,47	-31,91
06.07.2018	6,72	3,23	118,50	20,50	17,10	23,10	40,20	37,17	-72,96
08.07.2018	3,85	0,43	95,65	24,50	19,90	25,90	45,80	27,03	-14,39
08.07.2018	3,85	0,43	95,65	24,50	19,90	25,90	45,80	27,03	-14,39
09.07.2018	0,57	-0,71	176,10	28,40	23,40	27,90	51,30	135,19	-68,81
09.07.2018	0,57	-0,71	176,10	28,40	23,40	27,90	51,30	135,19	-68,81
17.07.2018	2,51	-1,46	155,30	26,90	17,30	27,30	44,60	764,54	-135,86
17.07.2018	2,51	-1,46	155,30	26,90	17,30	27,30	44,60	764,54	-135,86

Продолжение Таблицы 2

18.07.2018	3,39	1,23	171,82	28,10	18,80	23,50	42,30	16,30	-55,95
28.07.2018	5,34	1,06	34,85	21,90	12,10	29,10	41,20	31,16	-125,73
28.07.2018	5,34	1,06	34,85	21,90	12,10	29,10	41,20	31,16	-125,73
04.08.2018	1,15	-2,85	184,56	29,50	20,70	25,30	46,00	1660,82	-59,21
06.08.2018	5,31	1,55	88,90	22,50	15,30	26,30	41,60	68,53	-3,46
07.08.2018	2,20	-2,40	157,82	29,70	21,70	25,30	47,00	742,19	-0,83
08.08.2018	3,13	-3,10	116,39	15,20	22,20	26,30	48,50	641,57	-5,05
15.08.2018	-0,36	-0,65	222,50	34,30	20,10	30,10	50,20	188,63	-209,05
15.08.2018	-0,07	-2,12	205,12	32,30	20,30	29,30	49,60	547,96	-156,07
16.08.2018	-0,07	-2,12	205,12	32,30	20,30	29,30	49,60	547,96	-156,07
21.08.2018	2,09	1,45	236,79	30,10	19,30	26,30	45,60	55,34	-43,60
21.08.2018	2,09	1,45	236,79	30,10	19,30	26,30	45,60	55,34	-43,60
31.08.2018	2,01	-0,36	285,91	28,50	18,30	29,30	47,60	195,80	-177,90
05.05.2019	10,97	9,01	46,62	-11,10	9,10	25,10	34,20	0,00	0,00
09.05.2019	2,19	-0,15	79,07	22,10	18,50	30,50	49,00	95,40	-39,77
09.05.2019	2,19	-0,15	79,07	22,10	18,50	30,50	49,00	95,40	-39,77
13.05.2019	1,21	4,79	139,19	32,30	22,70	26,70	49,40	0,00	0,00
13.05.2019- 14.05.2019	1,69	0,51	82,85	28,60	20,30	28,30	48,60	85,99	-222,31
14.05.2019	1,73	-0,65	70,05	26,50	20,10	29,10	49,20	260,81	-11,69
16.05.2019	-0,13	2,84	199,19	33,00	25,20	26,30	51,50	0,00	0,00
23.05.2019	2,92	-0,12	82,73	23,50	19,30	28,30	47,60	102,28	-35,71
31.05.2019	-	-4,48	-	-	-	-	-	1457,50	0,00
09.06.2019	2,33	-1,55	66,97	20,90	18,10	29,10	47,20	489,28	-5,69
24.06.2019	-2,11	6,44	267,98	38,00	23,30	28,30	51,60	0,00	0,00
09.07.2019	0,24	-1,14	178,28	30,60	24,50	29,50	54,00	174,62	-12,99
09.07.2019	0,24	-1,14	178,28	30,60	24,50	29,50	54,00	174,62	-12,99
09.07.2019	0,24	-1,14	178,28	30,60	24,50	29,50	54,00	174,62	-12,99
16.08.2019	1,41	4,31	197,76	33,80	21,00	23,70	44,70	0,00	0,00
05.06.2020	3,55	4,60	91,76	24,30	19,30	28,30	47,60	0,00	0,00
12.06.2020	0,32	-4,15	126,05	25,70	21,30	28,30	49,60	1195,98	-0,54
13.06.2020	2,89	5,10	134,79	26,90	21,60	24,50	46,10	0,00	0,00
18.06.2020	1,43	-2,02	96,68	25,50	19,90	27,90	47,80	534,25	-0,27
20.06.2020	2,09	0,15	147,54	29,60	20,30	23,30	43,60	1290,61	-31,39
28.06.2020	4,08	2,47	81,59	23,50	17,10	27,10	44,20	9,60	-78,94
03.07.2020- 04.07.2020	0,20	-1,20	289,37	33,40	21,10	25,90	47,00	392,52	-129,40
04.07.2020	0,20	-1,20	289,37	33,40	21,10	25,90	47,00	392,52	-129,40
04.07.2020	0,20	-1,20	289,37	33,40	21,10	25,90	47,00	392,52	-129,40
09.07.2020	1,06	2,28	209,07	34,20	20,80	25,30	46,10	0,16	-223,91
14.07.2020	-0,43	-6,75	221,47	24,70	21,50	27,50	49,00	2329,49	-40,91
21.07.2020	1,37	-1,22	138,39	30,20	23,30	25,70	49,00	188,30	-18,85
22.07.2020	3,66	1,30	114,11	25,90	20,40	24,90	45,30	1,10	-44,33

Продолжение Таблицы 2

11.08.2020	0,83	-0,55	126,34	32,20	23,00	25,90	48,90	228,97	-71,79
02.04.2021	1,42	5,09	246,85	19,10	26,30	28,30	54,60	0,00	0,00
19.05.2021	-0,03	1,78	220,10	32,80	23,30	28,30	51,60	0,00	0,00
19.05.2021	-0,03	1,78	220,10	32,80	23,30	28,30	51,60	0,00	0,00
27.05.2021	1,53	-2,12	168,52	31,70	21,10	28,10	49,20	404,58	-66,05
29.05.2021	2,40	-0,63	198,63	28,50	19,30	28,30	47,60	378,20	0,00
29.05.2021	2,40	-0,63	198,63	28,50	19,30	28,30	47,60	378,20	0,00
29.05.2021	2,40	-0,63	198,63	28,50	19,30	28,30	47,60	378,20	0,00
06.06.2021	5,00	0,48	94,85	25,30	19,90	24,90	44,80	152,45	-7,70
06.06.2021	5,00	0,48	94,85	25,30	19,90	24,90	44,80	152,45	-7,70
07.06.2021	2,44	0,13	100,96	29,80	22,60	25,50	48,10	237,53	-15,51
08.06.2021	4,36	0,91	39,65	21,70	17,50	27,50	45,00	22,50	-16,19
08.06.2021	4,36	0,91	39,65	21,70	17,50	27,50	45,00	22,50	-16,19
11.06.2021	3,84	0,75	82,85	23,90	20,10	25,10	45,20	68,19	-5,68
12.06.2021	3,86	0,75	82,39	25,30	19,50	25,50	45,00	90,34	-13,65
13.06.2021	0,26	-1,60	148,11	30,70	24,00	27,10	51,10	283,09	-25,54
26.06.2021	-2,36	-3,23	217,37	25,70	21,70	31,70	53,40	399,49	-19,82
28.06.2021	3,44	0,94	167,99	25,70	16,50	26,50	43,00	34,20	-297,55
28.06.2021	0,29	1,64	224,16	30,60	21,80	23,10	44,90	8,56	-61,57
10.07.2021	4,34	3,51	128,68	26,10	15,10	26,10	41,20	0,00	0,00
14.07.2021	3,81	1,59	105,48	22,50	15,30	27,30	42,60	52,77	-20,35
14.07.2021	3,81	1,59	105,48	22,50	15,30	27,30	42,60	52,77	-20,35
15.07.2021	4,75	3,07	72,34	22,50	13,90	27,90	41,80	0,00	0,00
16.07.2021	0,60	-2,93	156,34	34,10	20,30	26,30	46,60	1341,24	-0,47
30.07.2021	2,32	-0,05	170,57	32,20	21,00	22,10	43,10	140,32	-15,43
12.08.2021	0,19	-3,21	213,58	34,40	18,50	30,50	49,00	583,96	-195,99
18.08.2021	1,29	-2,18	156,56	31,20	19,70	26,70	46,40	515,02	-45,77
18.08.2021- 19.08.2021	-0,83	-2,63	219,53	34,90	20,50	30,50	51,00	628,42	-203,95
21.08.2021	1,91	-1,91	141,59	26,30	19,90	25,90	45,80	648,19	-42,72
01.09.2021	-3,97	-5,86	344,56	34,10	27,70	29,90	57,60	1208,89	-12,05