

Анализ и прогноз гроз в холодный период года на примере аэродрома Минск-2



Материал подготовила
магистрант факультета географии и геоинформатики
Белорусского государственного университета
Лукша Марина Вячеславовна

Объект и цель исследования

Объектом исследования являются **зимние грозы**, которые представляют собой достаточно редкое метеорологическое явление, встречающееся в синоптической практике. Согласно литературе, к зимним, или снеговым грозам относят грозы, при которых вместо ливневого дождя выпадает ливневый снег, ледяной дождь или ледяная/снежная крупа (рис.1). В условиях изменяющегося климата в сторону потепления отмечается **тенденция к увеличению количества гроз в холодный период года с октября по март**, часто сопровождающиеся ливневыми осадками в жидком виде. В этой связи, по мнению автора возникает необходимость в пересмотре термина «зимние грозы», включив в определение понятия наличие осадков жидкого характера.

Целью данного исследования является **разработать научно-обоснованные рекомендации к прогнозу условий возникновения гроз в холодный период года на примере аэродрома Минск-2**.

Для достижения поставленной цели были осуществлены следующие виды работ: **проведена выборка** числа случаев **фактически наблюдавшихся гроз** и сопровождающих их явлений (ливневых осадков и шквалистого ветра) **на аэродроме Минск-2 с октября по март за период с 1989 по 2020 год** на основе анализа дневников погоды АВ-6; **установлена связь** выявленных опасных конвективных явлений холодного периода года **с аэросиноптическими условиями**, при которых они наблюдались, на основании анализа карт приземного анализа и аэрологических диаграмм за те же сроки. В результате анализа определены основные критерии для прогноза зимних гроз, которые могут использоваться, как основные рекомендации для разработки прогноза опасных конвективных явлений в период с октября по март.



Рисунок 1 – Зимняя гроза с ливневым снегом

Теоретические аспекты формирования зимних гроз

Грозы связаны с развитием мощных кучево-дождевых облаков, сильной неустойчивостью стратификации воздуха при высоком влагосодержании. Такие благоприятные для образования гроз условия в основном складываются в теплый период года (с апреля по сентябрь), на который приходится 99% гроз на территории Беларуси.

В зимнее время года воздух недостаточно влажный, так как низкие температуры препятствуют образованию излишка воды в атмосфере, вследствие чего любая избыточная влага в воздухе замораживается и выпадает на землю в виде снега. Также, перепады давления и температуры в холодный период не происходят так часто, как в тёплое время года, и атмосфера не получает достаточно солнечной энергии из-за короткого светового дня. Однако, в средних широтах в осенне-зимний промежуток времени нередко возможны грозы при условии, что воздушные потоки и циклоны приносят со стороны бассейнов океанов и морей очень теплые и влажные воздушные массы. В теплом секторе таких циклонов отмечается вынос теплого и влажного воздуха, температура воздуха повышается до положительных значений, а при затоке холодного воздуха с севера в тыловой части такого циклона, на холодном фронте и возникают грозы, так как здесь отмечается вынужденная динамическая конвекция (рис.2, а). Также зимние грозы возможны на фронтах окклюзий (рис.2, б).

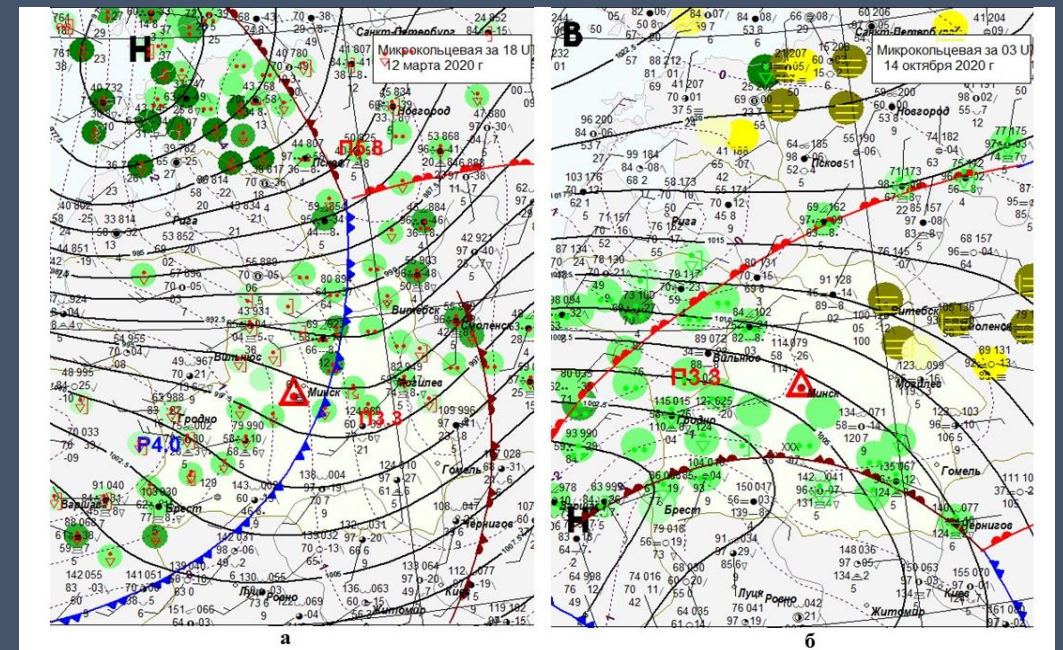


Рисунок 2 – Приземные синоптические ситуации, с которыми связаны зимние грозы:
а – холодный фронт с волнами; б – фронт окклюзии

Анализ зимних гроз на аэродроме Минск-2

Выбор 1989 года за начало выборки обусловлен тем, что именно с этого года в Беларуси начался **самый продолжительный период потепления за все время инструментальных наблюдений на протяжении последних 130 лет**. Среднегодовая температура в стране за последние 30 лет, выросла на $1,2^{\circ}\text{C}$. При этом, особенно резкие повышения отмечаются для зимнего периода с января по март, когда отмечен рост температуры на 2°C и более по сравнению с климатической нормой.

На основании анализа исходной информации было выявлено, что за последние 32 года (1989-2020 годы) на аэродроме Минске-2 было **отмечено 17 случаев с зимними грозами** (1 в январе, 3 в феврале, 4 в марте, 8 в октябре, 1 в ноябре). Для сравнения, за 40-летний период с 1936 по 1976 годы, в расположенном рядом с аэродромом городе Минске отмечено всего лишь 2 случая зимних гроз. Таким образом, **количество зимних гроз** с начала периода потепления **увеличилась примерно в 7 раз**.

Стоит также отметить, что в 1990 году было зафиксировано 3 случая зимних гроз, в 2008 году – 2 случая, в 2020 году – 2 случая, что связано с тенденцией потепления климата в стране. Представленные на рисунке 3 данные отклонения среднегодовых температур от климатической нормы показывают, что намечен устойчивый тренд роста температур в дальнейшем.

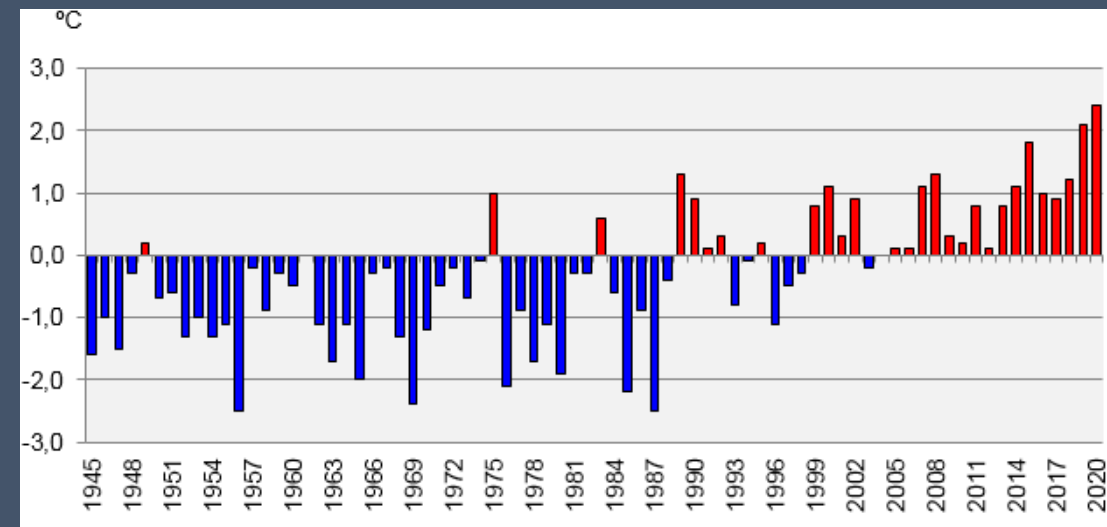


Рисунок 3 – Отклонение средней годовой температуры воздуха от климатической нормы ($+6,7^{\circ}\text{C}$) для территории Республики Беларусь

Анализ зимних гроз на аэродроме Минск-2

Приземные синоптические условия (см. табл.1, слайд 6):

- Формирование зимних гроз над аэродромом Минск-2 в рассматриваемый период было связано с прохождением атмосферных фронтов: холодного фронта с волнами (8 случаев), основного холодного фронта (1 случай), вторичного холодного фронта (1 случай) и фронта окклюзии (7 случаев). Грозы на холодных фронтах отмечались в послеобеденные часы (с 12 до 18 UTC – 5 случаев) или в вечерние часы (с 18 до 20 UTC – 4 случаев), а на фронтах окклюзии – в ночные (с 00 до 03 UTC – 3 случая) или утренние часы (с 08 до 10 UTC – 2 случая). Один случай зимней грозы на холодном фронте был отмечен ночью - с 00 до 02 UTC и 2 случая на фронте окклюзии – с 17 до 20 UTC. При этом, как правило, зимние грозы отмечались вблизи вершины волновых возмущений на холодных фронтах с волнами и вблизи точки окклюзии на фронтах окклюзии. Фронтальные разделы имели скорости смещения более 30 км/ч и были связаны с ориентированными с юга на север или юго-запада на северо-восток ложбинами глубоких скандинавских циклонов с давлением в центре 965-985 гПа и южных циклонов с давлением в центре 995-1005 гПа.
- Ветер у земли имел направление южной составляющей со средней скоростью 3-5 м/с до прохождения фронта. Прохождение фронтов сопровождалось усилением ветра до 9-13 м/с и разворотом на юго-запад в случае фронта окклюзии, или запад, северо-запад в случае холодного фронта. Отмечено лишь 2 случая усиления ветра более 15 м/с. Также почти всегда отмечались плотные барические градиенты, что говорит о больших скоростях смещения воздушных масс.
- Пять гроз было отмечено при температуре воздуха 0-+5°C, две грозы – при температуре +5-+10°C, 10 гроз при температуре +10-+15°C.
- Все грозы сопровождались осадками: при высоких температурах в виде ливневого дождя с ухудшением видимости от 550 до 3800 м, при температурах около нуля - сильными снегопадами с видимостью от 100 до 400 м.

Таблица 1

Приземные синоптические условия возникновения зимних гроз на аэродроме Минск-2 за период с 1989 по 2020 годы

Дата, День/месяц/год	Время, UTC	Синоптическая ситуация	Ветер		Барическая тенденция, гПа/3ч		Температура воздуха, °С		Явление, сопровождающие грозу	Видимость в осадках, м
			До фронта	После фронта	До фронта	После фронта	До фронта	После фронта		
26.01.1990	17.36-17.55	Фронт окклюзии	190° 3м/с	220° 5-9м/с	+1,8	+0,7	+6,4	+4,8	ливневый дождь	3800
27.02.1990	19.46-20.42	Холодный фронт с волнами	190° 4м/с	290° 3-7м/с	-1,4	+1,6	+3,0	+0,2	ливневый снег	400
07.03.1990	13.17-13.39	Вторичный холодный фронт	300° 5- 8м/с	320° 9-12м/с	+0,3	+3,6	+2,1	+1,0	ливневый снег	300
19.10.1996	19.40- 21.00	Фронт окклюзии	000° 0м/с	000° 0м/с	-0,6	-0,9	+11,4	+10,7	ливневый дождь	2500
27.02.2002	16.51-18.00	Холодный фронт с волнами	150° 3м/с	290° 6-16м/с	-3,5	+4,4	+5,3	+1,8	ливневый дождь	2500
03.10.2003	08.08-08.30	Фронт окклюзии	200° 1м/с	210° 3м/с	+0,3	+0,3	+10,7	+9,9	ливневый дождь	2300
31.10.2004	00.30-01.00	Фронт окклюзии	170° 2м/с	180° 3м/с	-1,0	+0,1	+12,1	+11,6	ливневый дождь	2700
15.03.2005	15.13-15.23	Холодный фронт с волнами	240° 4- 9м/с	300° 7- 12м/с	-1,7	+2,2	+2,7	-0,3	ливневый снег	100
03.10.2006.	01.10-02.42	Холодный фронт с волнами	210° 1м/с	230° 3- 8м/с	-0,4	+0,7	+12,7	+11,5	ливневый дождь	1600
23.02.2008	01.03-01.41	Холодный фронт	220° 3-8м/с	280° 3- 18м/с	-4,0	+3,0	+5,0	+3,7	ливневый дождь	550
12.03.2008	15.31-15.39	Холодный фронт с волнами	170° 3м/с	230° 3-8м/с	-2,3	-0,5	+7,9	+5,7	ливневый дождь	1700
08.10.2009	18.06-18.38	Холодный фронт с волнами	180° 2м/с	340° 9-13м/с	-3,2	+2,2	+17,7	+11,2	ливневый дождь	2800
10.11.2010	08.50-09.06	Фронт окклюзии	150° 3м/с	170° 5-8м/с	-0,6	+0,4	+6,8	+3,7	ливневый дождь	3800
07.10.2011	18.14-18.54	Холодный фронт с волнами	000° 0м/с	280° 3-6м/с	-1,1	+1,1	+3,0	+0,2	ливневый снег	400
06.10.2012	18.31-19.30	Холодный фронт с волнами	000° 0м/с	350° 4-7м/с	-3,4	-1,2	+2,1	+1,0	ливневый снег	300
12.03.2020	16.54-17.28	Холодный фронт с волнами	200° 8м/с	270° 11-24 м/с	-4,4	+3,4	+11,4	+10,3	ливневый дождь	2500
14.10.2020	03.45-	Фронт окклюзии	060°	100°	-2,9	+1,0	+5,3	+1,8	ливневый дождь	2500

Анализ зимних гроз на аэродроме Минск-2

Высотные аэрологические условия (см. табл. 2, слайд 8):

- Из аэрологических данных видно, что кучево-дождевые облака, с которыми были связаны зимние грозы, имели нижнюю границу порядка 300-900м, а верхнюю границу 2000-8700м в зависимости от температурного фона.
- На уровне АТ-850 практически во всех случаях наблюдается гребень теплого и влажного воздуха, который затем меняется ложбиной холода. Диапазон температур на данном уровне колеблется от -7,7 до +10,7°С в зависимости от господствующей воздушной массы.
- На уровне АТ-700 наблюдается усиление южного и юго-западного ветра до критериев струйного течения до 100км/ч. Анализ данного уровня показывает наибольшие вертикальные скорости и наибольший подъем частицы воздуха в сложившейся ситуации.
- На уровне АТ-500 в большинстве случаев отмечаются ветры южного, юго-западного направления со скоростями более 100 км/ч, что говорит о наличии струйного течения.
- На уровне АТ-300 во случаях (за исключением 19.10.2006), отмечается струйное течение юго-западного направления со скоростями от 100 до 240 км/ч. Струйные потоки и дивергенция, которые наблюдаются на данном уровне, усиливают шторм и создают сдвиг, так что вершины грозового облака иногда будут пролетать над слоисто-кучевыми облаками. К тому же, расположение района с грозами вблизи оси струйного течения на АТ-300 говорит о том, что циклон набирает свою активность.

Таблица 2

Аэрологические условия формирования зимних гроз для аэродрома Минск-2 за период с 1989 по 2020

годы

Дата, День/месяц/год	Время, UTC	Мощность конвективного облака		АТ-850		АТ-700, направление и скорость ветра	АТ-500, направление и скорость ветра	АТ-300, направление и скорость ветра
		Уровень конденсации, м	Уровень конвекции, м	Температура, °С	Дефицит, Т, °С			
26.01.1990	17.36-17.55	700	3500	-0,3	2,0	240° 80км/ч	240° 160км/ч	280° 180км/ч
27.02.1990	19.46-20.42	600	2600	-3,3	1,4	250° 80км/ч	240° 120км/ч	240° 130км/ч
07.03.1990	13.17-13.39	600	4600	-7,7	4,5	320° 80км/ч	330° 220км/ч	330° 220км/ч
19.10.1996	19.40- 21.00	700	5300	+5,0	1,3	160° 40км/ч	160° 50км/ч	200° 60км/ч
27.02.2002	16.51-18.00	700	5100	-0,2	0,0	240° 100км/ч	240° 110км/ч	240° 150км/ч
03.10.2003	08.08-08.30	300	5300	+4,8	1,1	220° 25км/ч	160° 60км/ч	200° 160км/ч
31.10.2004	00.30-01.00	600	5500	+9,7	2,5	240° 80км/ч	240° 120км/ч	240° 170км/ч
15.03.2005	15.13-15.23	300	2000	-7,0	2,0	270° 80км/ч	280° 90км/ч	270° 140км/ч
03.10.2006.	01.10-02.42	500	5900	+6,7	5	260° 70км/ч	260° 80км/ч	260° 150км/ч
23.02.2008	01.03-01.41	700	2600	+0,5	0,0	270° 120км/ч	260° 180км/ч	260° 240км/ч
12.03.2008	15.31-15.39	500	2400	+0,2	0,5	250° 80км/ч	240° 120км/ч	250° 110км/ч
08.10.2009	18.06-18.38	300	8700	+10,7	0,3	250° 90км/ч	250° 120км/ч	250° 160км/ч
10.11.2010	08.50-09.06	400	3800	+6,5	2,7	200° 60км/ч	200° 70км/ч	220° 120км/ч
07.10.2011	18.14-18.54	800	2800	+5,1	0,2	220° 80км/ч	230° 100км/ч	220° 130км/ч
06.10.2012	18.31-19.30	800	5400	+5,5	0,0	250° 110км/ч	260° 120км/ч	250° 190км/ч
12.03.2020	16.54-17.28	700	3100	+3,3	0,4	260° 120км/ч	260° 120км/ч	270° 200км/ч
14.10.2020	03.45- 04.07	900	4300	+9,8	2,0	150° 70км/ч	160° 80км/ч	210° 110км/ч

Рекомендации к прогнозу гроз в холодный период года

Проанализировав представленный выше материал о фактических зимних грозах и аэросиноптические условия их формирования, были выделены основные **рекомендации к прогнозу гроз в холодный период года для территории Беларуси:**

1. Проведение анализа приземной синоптической ситуации, который позволит определить **наличие теплой (с температурой воздуха выше 0°C) и влажной воздушной массы с юга или юго-запада**, а также выявить **смещение интенсивно углубляющихся северно-атлантических или южных циклонов в стадии молодого циклона**;
2. Изучение динамического фактора поможет увидеть **смещение со скоростью более 30 км/ч основных и вторичных активных холодных фронтов, холодных фронтов с волнами и фронтов окклюзии**, которые обеспечивают подъем теплого и влажного воздуха нижней тропосферы;
3. Проведение анализа аэрологической диаграммы даст возможность выявить **наличие конвективной неустойчивости в атмосфере, характеризующейся вертикальными градиентами температуры значительно больше влажноадиабатических**;
4. Исследование ситуации на уровне АТ-700, АТ-500 позволит определить **наличие низкоструйных течений и положительной завихренности**, указывающей на подъем частицы воздуха;
5. Изучение ситуации на уровне АТ-300 даст возможность выявить **наличие мощного струйного течения западной четверти**, усиливающего конвективные процессы (рис.4).

Также стоит помнить то, что поскольку гроза – это локальное мезомасштабное явление, поэтому для целей наукастинга в сочетании с **численными моделями прогноза погоды стоит применять оперативные радиолокационные данные.**

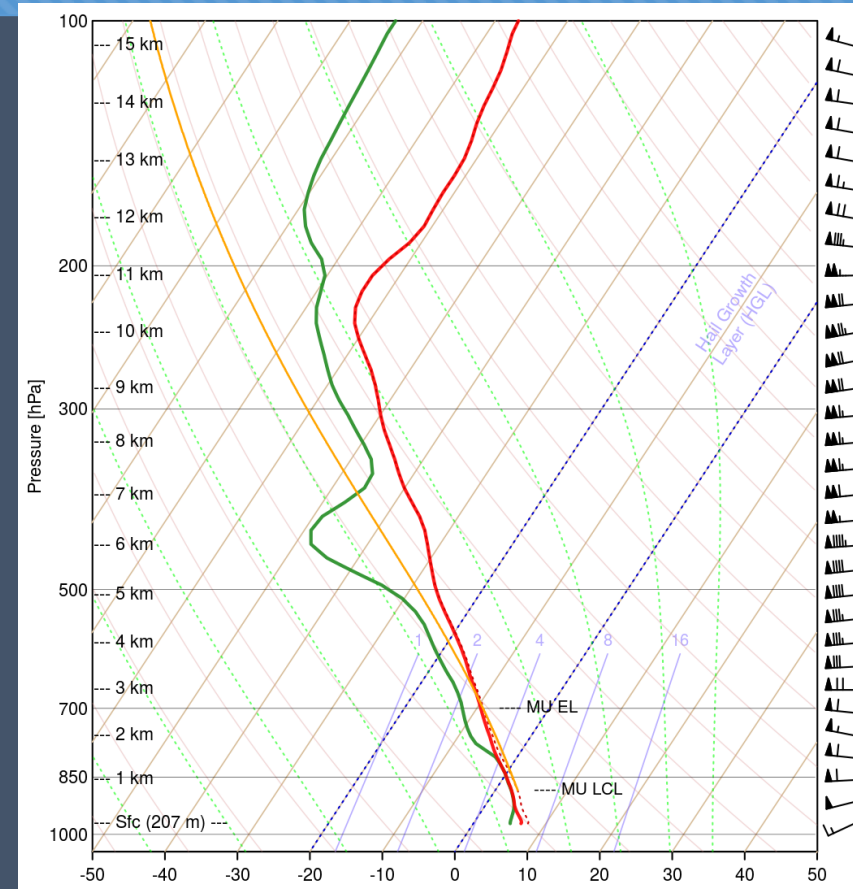


Рисунок 4 – Аэрологическая диаграмма над аэродромом Минск-2 за 23.02.2008 за 01 UTC