

УДК 551.(501.81+509.326)

**АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГРОЗ В  
СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ**

Канд. геогр. наук А.В. Чередниченко

*Исследованы условия образования гроз при различных синоптических процессах. Проанализированы отдельные случаи с грозами с использованием данных метеорологического радиолокатора (МРЛ), что позволяет существенно уточнить местоположение и траекторию движения грозовых очагов. Представленные данные можно использовать для прогноза гроз и связанных с ними опасных явлений, а также для оценки доступных влагозапасов облачности в этом регионе.*

В Казахстане при синоптическом анализе принято пользоваться типизацией макросиноптических процессов, разработанной ташкентскими исследователями для региона Средней Азии и Казахстана [12], которая далее постоянно совершенствовалась. Эта типизация обладает, по крайней мере, двумя достоинствами. Во-первых, в основу типизации положены термодинамические характеристики и траектории воздушных масс, знание которых важно и при прогнозе опасных явлений. Во-вторых, типизация оптимально учитывает динамику и другие характеристики элементов конкретной синоптической ситуации (фронтов, линий неустойчивости и др.), что тоже очень важно при прогнозе, особенно сверх краткосрочном, так как позволяет легко перейти к мезометеорологическому анализу, в т.ч. с использованием данных метеорологического радиолокатора (МРЛ). При анализе синоптических условий образования гроз автор тоже воспользовался типизацией крупномасштабных синоптических процессов, предложенной в работах [9, 10, 12].

**ТИПЫ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГРОЗАХ**

Все грозы, наблюдавшиеся в течение пятилетнего периода, были разделены на дневные и ночные. За ночные было принято считать грозы, имевшие место после захода солнца и происходившие до восхода солнца. Распределение гроз по типам синоптических процессов представлено в табл. 1. Можно видеть, что большинство гроз, как дневных, так и ночных случается при макросиноптическом типе Западное вторжение, их повторяемость превышает 40 %. Значительное число гроз, более 30 %, случается при Северном холодном вторжении

и 14...17 % – при Северо-западном холодном вторжении. Еще 6...10 % гроз имеют место при типе, который мы назвали Юго-западный перенос. В этот тип входят южно-каспийские циклоны с траекторией через центральные и северо-западные районы Казахстана, а также Черноморские циклоны с траекториями перемещения на юг Урала и Западной Сибири.

Таблица 1

Повторяемость дневных и ночных гроз по типам синоптических процессов, %

Тип процесса	Повторяемость	
	день	ночь
Северное холодное вторжение	32,5	32,2
Северо-западное холодное вторжение	17,7	14,4
Западное вторжение	44,0	43,0
Юго-западный перенос	5,9	10,0

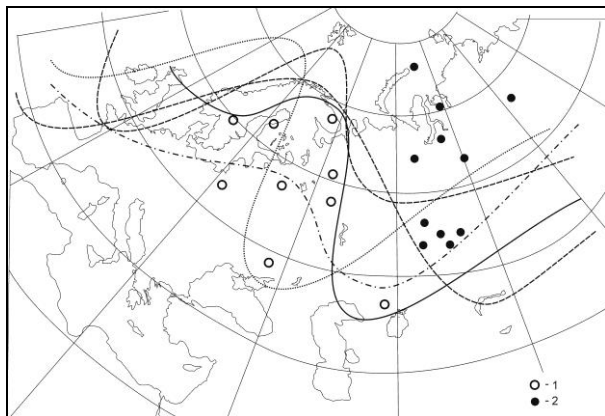
Максимум повторяемости западных вторжений имеет место с мая по август, превышая пять вторжений в месяц [9, 12]. Повторяемость Северных вторжений тоже имеет выраженный максимум летом, в июле, около четырех случаев в месяц. Примерно такая же повторяемость и северо-западных холодных вторжений с максимумом в июне [12]. Сравнивая приведенные выше данные о повторяемости типов синоптических процессов с повторяемостью гроз, следует заключить, что грозы все же предпочитают формироваться преимущественно при Западном вторжении и Северном холодном вторжении (табл. 1). Такое заключение делает необходимым проведение более тщательного анализа протекания синоптических процессов, чтобы уточнить, что же требуется для формирования гроз? Для этого рассмотрим сначала общие характеристики макропроцессов, а затем проанализируем конкретные примеры для каждого из них.

**Северо-западное холодное вторжение.** Северо-западным холодным вторжением называется такой синоптический процесс, при котором арктические или умеренные воздушные массы, ограниченные холодным фронтом, проникают на территорию Казахстана с северо-запада через юго-восточную часть европейской территории России (ЕТР), Западный Казахстан [9, 12].

Наиболее характерные черты макросиноптической обстановки при северо-западном вторжении следующие: через Балканы на Центральную Европу и Скандинавский полуостров простирается хорошо развитый высотный гребень. Над Западной Сибирью располагается центр высокого циклона, от которого в южном или юго-западном направлении вытягивается ложбина. Полярная высотная фронтальная зона (ПВФЗ) проходит по

северу Скандинавии, затем, меридионально по ЕТР на низовья Волги. Далее ось ПВФЗ принимает зональное направление. Над Казахстаном она проходит почти широтно. Грозы в северном Казахстане возникали еще при двух разновидностях северо-западных вторжений:

1. меридионально ориентированный участок ПВФЗ сдвинут несколько на запад. Высотный гребень простирается с берегов Атлантики на Запад Скандинавии, а центр высокого циклона располагается в районе Москвы. Огибая высотный гребень, ПВФЗ направлена от Скандинавии на северо-западное побережье Черного моря (при сильно выраженном вторжении ось ПВФЗ захватывает Малую Азию и далее, приобретая здесь широтную ориентировку, направлена на Казахстан (рис. 1);

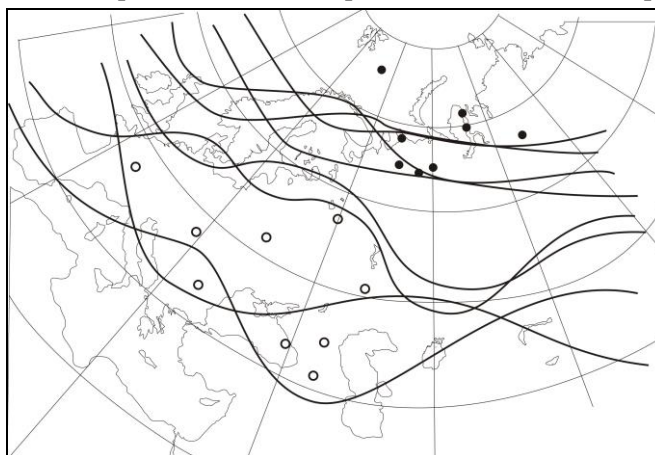


*Рис. 1. Типичная сборно-кинематическая карта и положение оси ПВФЗ при северо-западном холодном вторжении, когда имеют место грозы над Северным Казахстаном. 1 – центры антициклонов; 2 – центры циклонов.*

2. высотный гребень направлен с берегов Средиземного моря на Скандинавию и остров Шпицберген, а центр высокого циклона располагается в районе Игарки. ПВФЗ огибает высотный гребень севернее Скандинавии, далее идет вдоль Уральских гор и над югом Западной Сибири принимает широтное направление, захватывая своей южной периферией северный Казахстан.

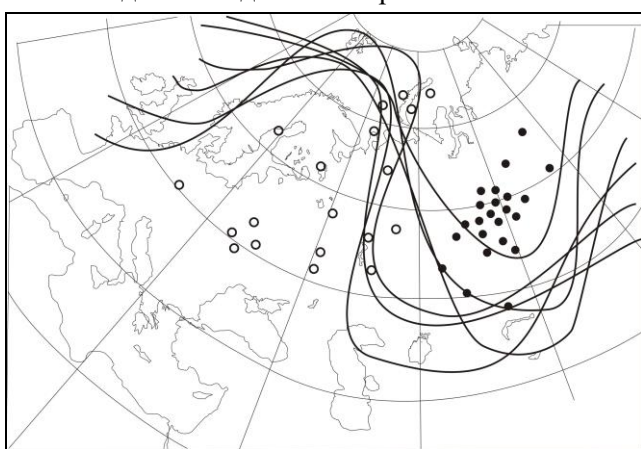
На рис. 1 нанесены центры циклонов, холодные фронты которых обуславливали грозы в Павлодаре, в день с грозой. Видно, что центры циклонов в одних случаях расположены на севере Западной Сибири (вдоль  $80^\circ$  в.д.), в других случаях вблизи Уральских гор или на юге Западной Сибири. Центры антициклонов вторжения в день с грозой в Павлодаре располагаются или на севере Западной Европы или на ЕТР, иногда над районами Украины, юга Урала или даже над Восточным Казахстаном.

**Западное вторжение.** Западным вторжением называется такой синоптический процесс, при котором воздух умеренных широт, реже – прежний арктический воздух, вторгается в Казахстан с запада [12]. Макросиноптическая ситуация при западных переносах следующая: обычно воздушные массы приходят из Центральной или Южной Европы. Высотное поле в этом случае характеризуется областью повышенного давления, расположенной над районами Урала или Западной Сибири. ПВФЗ направлена с берегов Атлантики по Южной или Центральной Европе, далее ось ее идет по Черному морю и Кавказу и обуславливает западный перенос над Казахстаном. Иногда вся эта система сдвигается на север. В этом случае область пониженного давления смещена на север и располагается над морями Северного Ледовитого океана (чаще над Карским морем). В районе Приволжской возвышенности располагается высотный антициклон. ПВФЗ направлена от Скандинавии по северному побережью, огибает антициклон по его северной периферии, затем, в районе Уральских гор принимает направление с северо-запада на юго-восток, где огибает высотный циклон по его южной периферии. Казахстан ПВФЗ охватывает лишь своей южной периферией. На рис. 2 нанесены центры циклонов, фронты которых обуславливали грозы в Павлодаре в день с грозой. Видно, что центры циклонов в основном расположены в районе Среднего Урала, Обской Губы, в районе Карского и Баренцева морей. Центры антициклонов вторжения расположены в районе Украины, Черноморского побережья Кавказа и в районе юга Западной Европы.



*Рис. 2. Типичная сборно-кинематическая карта и положение оси ПВФЗ при западном вторжении, когда имеют место грозы над Северным Казахстаном. Условные обозначения смотрите на рис. 1.*

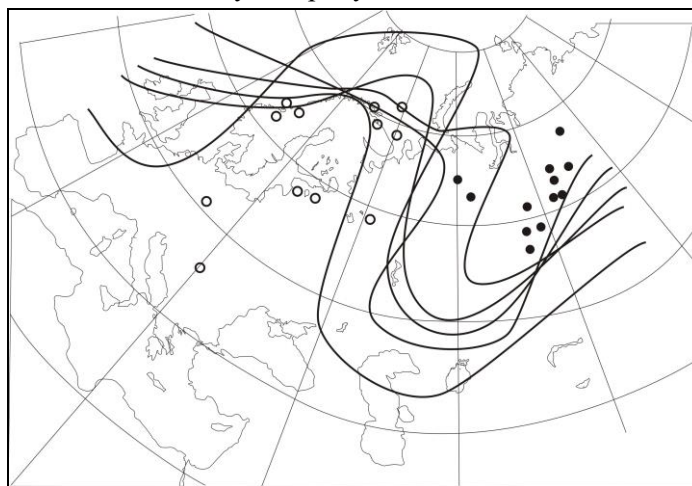
**Северное холодное вторжение.** Северным холодным вторжением называется синоптический процесс, при котором арктический воздух или воздух умеренных широт проникает в Казахстан с севера [12]. Макросиноптическая обстановка, характерная для северного вторжения, следующая. Над ЕТР формируется высотный гребень, ориентированный меридионально, или с некоторой восточной составляющей. Северная часть гребня достигает районов Баренцева моря. Над Западной Сибирью и восточным Казахстаном развивается глубокий циклон. Ось ПВФЗ проходит в направлении от Скандинавского полуострова на Новую Землю и далее, продолжая огибать гребень, постепенно приобретает близкое к меридиональному направление в районе северного Урала. Далее ось ПВФЗ проходит вдоль Уральского хребта на западный Казахстан, где переходит к широтному положению, а затем направляется на Байкал (рис. 3). В северном холодном вторжении можно выделить отдельные варианты.



*Рис. 3. Типичная сборно-кинематическая карта и положение оси ПВФЗ при Северном холодном вторжении, когда имеют место грозы над Северным Казахстаном. Условные обозначения смотрите на рис. 1.*

Так, для ультраполярного вторжения характерна следующая обстановка: сформировавшийся над Европой высотный гребень ориентирован не меридионально, а с юго-запада на северо-восток, т.е. северная часть гребня направлена от Европы на Карское море или Новую Землю (рис. 4). В связи с этим ложбина, расположенного над Восточной Сибирью или Казахстаном циклона, постепенно приобретает ультраполярное направление, т.е. ось ее направлена с северо-востока на юго-запад. ПВФЗ в этих случаях проходит по северу Скандинавии, огибает высотный гребень в районе Новой Земли, где постепенно приобретает меридиональное направление. Уральские горы

ПВФЗ пересекает в направлении с северо-востока на юго-запад и далее идет на Кавказ и Каспийское море, где приобретает широтное направление и далее через Казахстан на Байкал (рис. 4). В иных случаях ПВФЗ проходит по Европе, в районе Балкан принимает широтное направление, далее идет по Черному морю, Каспию, Западному Казахстану на северо-восток. В тех случаях, когда ПВФЗ проходит по востоку Западной Сибири воздух в Павлодар приносится непосредственно с севера (т.е. вся система сдвинута несколько на восток). На рис. 4 нанесены центры циклонов, молодые фронты которых вызвали грозы, а также центры антициклонов вторжения. Для северных вторжений (ультрополярных) характерно расположение центров циклонов в районе юго-западной Сибири. Центры антициклонов вторжения сгруппированы в районе Скандинавии, а также на ЕТР. Для Северного вторжения (основного типа) характерно расположение центров циклонов в районе Западной Сибири, а также севера Казахстана. Центры антициклонов вторжения занимают Западную Европу, Скандинавию.



*Рис. 4. Типичная сборно-кинематическая карта и положение оси ПВФЗ при ультраполярном северном вторжении, когда имеют место грозы над Северным Казахстаном. Условные обозначения смотрите на рис. 1.*

**Юго-западный перенос.** При юго-западном (южном) переносе происходит вынос воздушных масс с юго-запада или юга на районы Северного Урала и северо-западного Казахстана. Повторяемость гроз на теплых и холодных фронтах при этом типе синоптических процессов почти одинакова. Перенос осуществляется при следующей макросиноптической ситуации. Над центральной частью ЕТР располагается обширный высокий циклон. В ложбине этого циклона, ориентированной в восточном или юго-

восточном направлении, в районах Поволжья или над западным Казахстаном, возникают частные циклоны или волновые возмущения, которые в дальнейшем перемещаются в северо-восточном направлении под передней частью высотной ложбины. Эта ложбина занимает ЕТР, ее южная часть достигает районов Черного или Каспийского морей. Над югом Западной Сибири, центральным и восточным Казахстаном располагается высотный циклон или гребень; ось его ориентирована с юга на север или с юго-востока на северо-запад. ПВФЗ проходит со Скандинавии на Черное море. Далее огибают ложбину и над северо-западным Казахстаном и средним Уралом ориентирована с юго-запада на северо-восток, затем, огибая высотный гребень, уходит на восток (рис. 5).

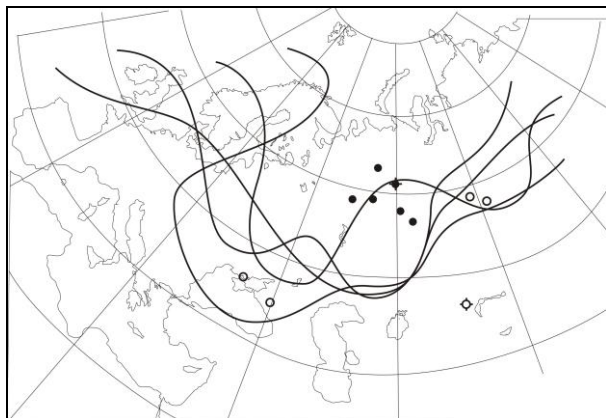


Рис. 5. Типичная сборно-кинематическая карта при юго-западном переносе, когда имеет место грозы. Условные обозначения смотрите на рис. 1.

**Внутримассовые грозы.** Синоптические процессы при внутримассовых грозах анализировались в основном по барическому полю у земли. Анализ внутримассовых гроз показал, что они наблюдались преимущественно в теплых секторах небольших волновых или заполняющихся циклонов, в остальных случаях – на северо-западной или юго-западной периферии антициклонов, в малоградиентном барическом поле.

Прежде чем перейти к рассмотрению отдельных аэросиноптических ситуаций каждого из перечисленных выше макропроцессов, обуславливающих грозы в Северном Казахстане, сначала рассмотрим, при каких именно условиях формируются грозы.

Оказалось, что в Костанае дневные грозы формируются преимущественно (45 %) на вторичных холодных фронтах, другие ситуации имеют меньшую повторяемость (табл. 2). При сходных условиях формируются дневные грозы и в Павлодаре, хотя повторяемость по типам не-

сколько отличается, в частности, заметно ниже повторяемость гроз на вторичных фронтах. В тоже время повторяемость дневных гроз на холодных фронтах в два раза выше. Такие различия, возможно, обусловлены субъективностью при синоптическом анализе.

Таблица 2

Повторяемость дневных и ночных гроз в зависимости от синоптических условий, (%)

Тип синоптической ситуации	Костанай		Павлодар	
	время грозы			
	дневная	ночная	дневная	ночная
Холодный фронт	12	23	27	30
Фронт с волнами	15	24	12	16
Окклюзия	5	5	7	8
Теплый фронт	9	23	9	19
Вторичный холодный фронт	45	14	31	17
Вторичный теплый фронт	11	9	10	9
Внутримассовые	3	4	4	5

Ночные грозы и в Костанайе и Павлодаре имеют близкую повторяемость при отмеченных типах синоптических ситуаций (табл. 2). Такая близость, как и некоторые различия, представляются естественными.

#### **АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНЫХ СЛУЧАЕВ ГРОЗ**

Разберем теперь несколько случаев формирования гроз над Северным Казахстаном, по одному случаю из каждого типа макропроцесса.

**Северо-западное холодное вторжение.** 28...31 мая 1991 г. 28 мая над Баренцевым морем образовался циклон, с которым связана система фронтов. Это высокое барическое образование с сильно наклоненной к северо-западу пространственной осью. Давление в центре циклона было около 1000 гПа (рис. 6, 7).

К 03 часам 29 мая циклон сместился на юго-восток и давление в его центре увеличилось на 2 гПа. Холодные фронты, связанные с этим циклоном, смещаются по северу ЕТР в юго-восточном направлении. К 03 ч. 30 мая давление в центре циклона стало 995 гПа, т.е. уменьшилось на 7 гПа/сутки. Это связано с регенерацией циклона на арктическом фронте.

Антициклон вторжения, возникший 28 мая за холодным фронтом над северной Атлантикой, к 03 часам 30 мая сместился на северо-запад ЕТР. Давление в его центре увеличилось на 15 гПа и достигло 1030 гПа. Усиление антициклона обуславливалось рядом факторов: сходимостью изогипс по потоку, адвекцией антициклонического вихря.



30 мая 1991 года юг Западной Сибири и большую часть территории Казахстана занимал невысокий антициклон с давлением в центре 1029 гПа. Павлодар находился на северной периферии этого антициклона перед теплым фронтом. Днем 30 мая наблюдалась переменная облачность (Сi, Сu), температура воздуха была 21...23 °С. ВФЗ в 03 часа проходит из районов северной Атлантики на север ЕТР и далее через Средний Урал на юг Западной Сибири. В связи с отставанием высотного термического поля от барического осуществлялась адвекция холода на район Урала.

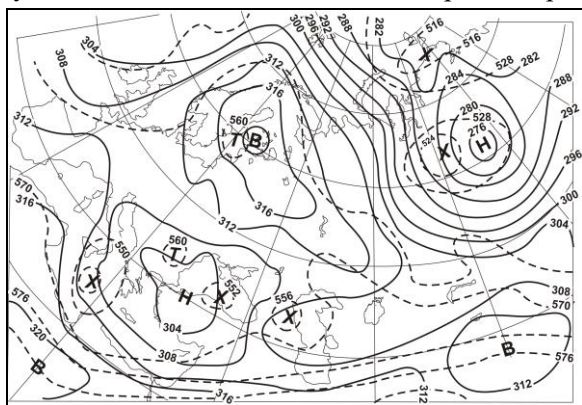


Рис. 6. Карта барической топографии АТ-700 и ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup> за 03 ч. мск. 28 мая 1991 г.

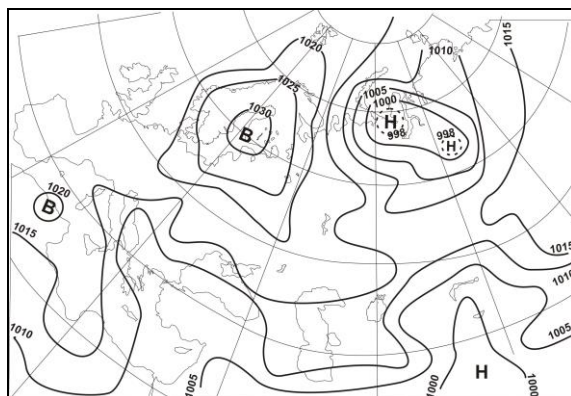


Рис. 7. Карта погоды за 03 ч. мск. 28 мая 1991 г.

В следующие сутки синоптические процессы развивались таким образом: к 03 часам 31 мая циклон сместился на юго-восток на северные районы Западной Сибири. Он начал заполняться, что обуславливалось адвекцией тепла в его тыловую часть, сходимостью циклонических изогипс по потоку. Холодные фронты, связанные с этим окклюдированным циклоном, перемещаются со значительной скоростью, что связано с интенсив-

ным затоком холода в тыл этого циклона. Скорость их смещения достигала 40 км/час. Антициклон вторжения сместился к 03 часам 31 мая на юго-восток, давление в его центре за сутки не изменилось.

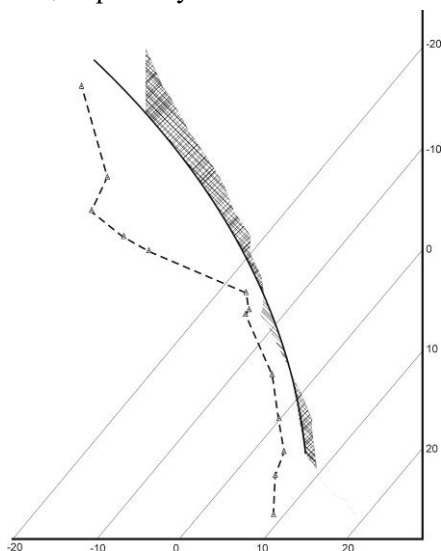


Рис. 8. Данные температурно-ветрового зондирования за 03 ч. мск.  
31 мая 1991 г.

31 мая в 03 часа Павлодар находился в теплом секторе циклона. Холодный фронт находился к северо-западу от Павлодара на расстоянии 300...350 км. Двигаясь со значительной скоростью, как и в предшествующие сутки, холодный фронт прошел через Павлодар около 16 часов мск. Во время прохождения фронта здесь наблюдалась гроза, которая длилась от 15,8 до 16,7 часов. Аэрологические данные за срок 14:30 мск 31 мая показали, что почти во всей толще тропосферы энергия неустойчивости отрицательная и лишь в слое 700...560 гПа наблюдается положительная энергия неустойчивости. Стратификация атмосферы на 03 ч московского времени представлена на рис. 8.

**Северное холодное вторжение.** Случай ночной грозы 23 мая 1991 г относится к группе северных холодных вторжений. В это время над Архангельском располагался циклон с давлением в центре 1000 гПа. Это довольно высокое барическое образование, окклюдированное; ось его наклонена на север в сторону холодной воздушной массы. С этим циклоном связаны две системы фронтов, холодные участки которых ориентированы широтно и проходят по ЕТР в юго-западном направлении.

До этого в 03 часа 21 мая исследуемый циклон сместился к востоку на 400 км, давление в его центре увеличилось на 5 гПа. Холодные фронты,

связанные с ним смещаются на восток по ЕТР. Антициклон вторжения, возникший в районе о. Шпицберген, к 03 часам 21 мая сместился на юго-восток, но давление в его центре не изменяется.

К 22 мая этот антициклон усилился еще на 5 гПа, чему способствовала сходимоссть циклонических изогипс по потоку. На высоте этому антициклону соответствует хорошо развитый высотный гребень, северная часть которого достигает о. Шпицберген. ПВФЗ огибаает этот высотный гребень, в районе Новой Земли приобретает направление с северо-востока на юго-запад на район Архангельска. В районе Архангельска ВФЗ меняет направление на широтное, и до Красноярска ось ПВФЗ направлена вдоль 60° с.ш. Далее она поворачивает на юго-восток. Циклон к 03 часам 22 мая смесился на юго-восток на 800 км. Давление в его центре не изменилось. Холодные фронты, связанные с этим циклоном, сместились на юго-восток на 400 км, чему способствовала интенсивная адвекция холода по западной периферии этого циклона (рис. 9, 10).

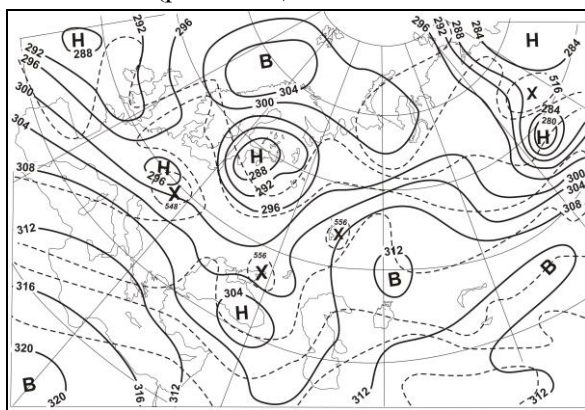


Рис. 9. Карта барической топографии АТ-700 и ОТ<sub>1000</sub><sup>500</sup> за 03 ч. мск.  
22 мая 1991 г.

21 мая погоду в Павлодаре определял обширный антициклон. 22 мая к Павлодару приближался теплый фронт. Утром была переменная облачность 7...8 баллов (Сi, Ас, Сu) температура воздуха 20...22 °С. К полудню температура повысилась до 28 °С, облачность увеличилась до 10 баллов (Сi, Ас, Св). Во время прохождения теплого фронта через Павлодар здесь наблюдалась гроза, которая продолжалась от 12,7 до 13,7 часов. Радиозондирование, произведенное в 14 ч 20 мин. мск, т.е. уже после грозы, показало, что в большой толще тропосферы (начиная с 2 км) энергия неустойчивости положительна. От земли до 800 м  $\gamma = \gamma_{ca}$ , выше  $-\gamma_{ba} < \gamma < \gamma_{ca}$ , что способ-

ствует развитию конвекции. Высота уровня конденсации 2 км, уровень конвекции – 11 км. Температура на уровне конвекции – 55 °С.

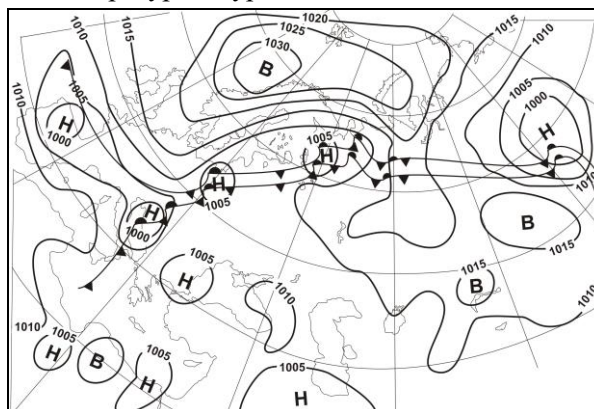


Рис. 10. Карта погоды за 03 ч. мск. 22 мая 1991 г.

В дальнейшем циклон, углубляясь за счет вихревого и термического факторов, смещался к востоку, а холодный воздух по его западной периферии распространялся на юг Западной Сибири и северные районы Казахстана. От антициклона вторжения в тыл циклону вклинивался барический гребень. Адвекция холода обусловила углубление высотной ложбины, и к 03 часам 23 мая потоки в ее тыловой части стали меридиональными (направлены с севера на юг). Прохождение через Павлодар холодного фронта обусловило ночную грозу с 19,5 до 20,0 часов мск (рис 9, 10). Зондирование атмосферы в 20 ч 30 мин, т.е. после грозы, показало неустойчивую стратификацию атмосферы в районе Павлодара (рис. 11) в средней и верхней тропосфере.

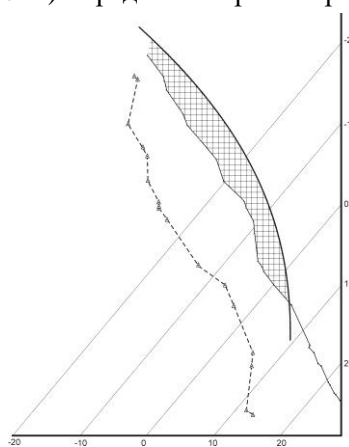


Рис. 11. Данные температурно-ветрового зондирования за 03 ч. мск. 22 мая 1991 г.

**Западное вторжение.** 4 сентября 1991 г. гроза наблюдалась при следующей макросиноптической ситуации, характерной для западного переноса (рис. 12, 13 и 14). Широкая полоса низкого давления занимает север Атлантики, Скандинавию, север Западной Европы, северные районы ЕТР, Урала и Западной Сибири. Серия циклонов Исландского происхождения перемещалась с Норвежского моря через Скандинавию в восточном направлении со средней скоростью 40...50 км/ч. По мере продвижения этого циклона происходило его развитие, а затем и окклюдирование. К моменту начала грозы 4 сентября в 03 ч. его центр с давлением около 990 гПа располагался над севером Кольского полуострова. Циклон находился в стадии максимального развития: его можно было проследить до уровня 300 мб, судя по карте  $OT_{1000}^{500}$  ему соответствует неглубокая ложбина холода. Пространственная ось циклона немного наклонена в сторону холода, он окклюдирован. Одновременно с развитием этого циклона над севером Западной Сибири происходило развитие другого циклона, который возник из волны на холодном фронте в среднем течении Оби. Развитию циклона из волны способствовали следующие термические и динамические факторы. Адвекция холода в тыл возникшего возмущения превышала адвекцию тепла в передней части, район волны находился под передней частью высотной ложбины, где наблюдалась расходямость изогипс циклонической кривизны, которая по потоку уменьшалась. В дальнейшем этот циклон углублялся и смещался по ведущему потоку со скоростью 10...20 км/ч. В день с грозой он представлял собой высокое барическое образование с замкнутой областью холода над центром, началось его окклюдирование.

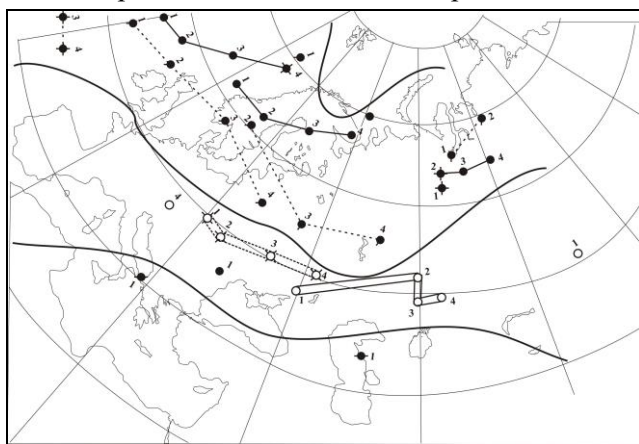


Рис. 12. Сборно-кинематическая карта за 3 ч. мск.  
В период с 1 по 4 сентября 1991 г.

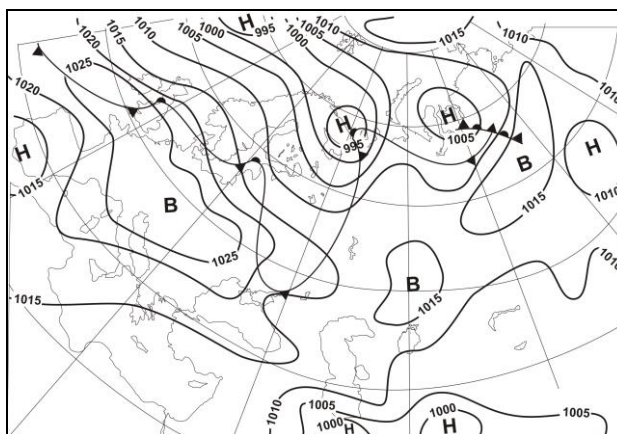


Рис. 13. Карта погоды за 03 ч. мск. 4 сентября 1991 г.

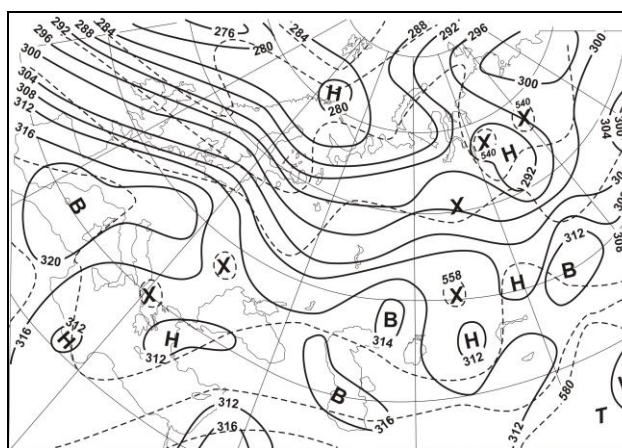


Рис. 14. Карта барической топографии АТ-700 и ОТ<sub>500</sub><sup>500</sup> за 03 ч. мск. 4 сентября 1991 г.

Ядра Азорского антициклона, двигаясь по югу Европы и югу ЕТР над Казахстаном, образуют поле повышенного давления. Частный антициклон с 1 по 4 сентября сместился от района Варшавы на Среднюю Волгу. Далее перемещение антициклона продолжалось в восточном направлении. В первые сутки (1...2 сентября) антициклон перемещался со скоростью 50...60 км/час, в последующие сутки движение его замедлилось до 15...20 км/ч. И к моменту грозы центр этого антициклона с давлением около 1015 гПа располагался в 300...400 км западнее Астаны.

Над Средиземным морем, Малой Азией, Кавказом и Средней Азией в этот период была слабо развита циклоничность. Таким образом, по южной периферии циклонов и северной периферии антициклонов на Северную и центральную Европу, районы Урала осуществлялся перенос воз-

душных масс с запада, с Атлантики. Над этими районами на протяжении всего естественного синоптического периода (ЕСП) изогипсы и изотермы были ориентированы почти широтно. Ось ПВФЗ проходила через Великобританию, север Западной Европы, центральную часть ЕТР и далее на восток, через Средний Урал. Интенсивность ПВФЗ над Средним Уралом на уровне 500 гПа составила 8 дкм/500 км.

Фронт окклюзии, на котором возникла гроза, за последние сутки смещался со скоростью 40...50 км/ч. Этот фронт очень хорошо выражен в температуре: контрасты температуры в зоне фронта на уровне 850 мб составили 10...12 °С.

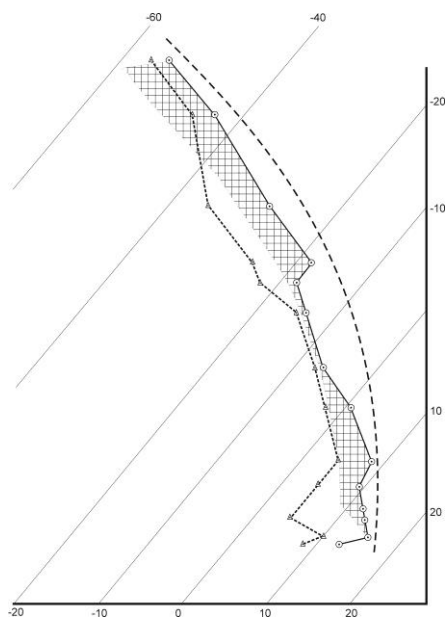


Рис. 15. Данные температурно-ветрового зондирования за 03 ч. мск. 4 сентября 1991 г.

По данным аэрологического зондирования, проведенного за 3 часа до начала явления, условия благоприятствовали развитию грозы (рис. 15): от земли до высоты примерно 0,2 км наблюдалось инверсионное распределение температуры воздуха ( $\gamma < 0$ ), в вышележащих слоях до уровня 500 гПа вертикальный температурный градиент превышал или был равен влажноадиабатическому ( $\gamma \geq \gamma_{ва}$ ). На высоте около 7 км на кривой стратификации имелся один задерживающий слой, толщина его 0,5 км. Суммарный дефицит точки росы на уровнях 850, 700 и 500 гПа составил 12,8 °С, суммарная удельная влажность на уровнях 850 и 700 гПа составила 13°С.

Показатель энергии неустойчивости  $\Delta T$  на уровнях 700 и 500 гПа составил соответственно – 3,0 и -1,5 °С.

На всех трех диаграммах вероятности ночных гроз в Костаная, построенных нами для прогноза [9], точки с соответствующими параметрами за 4 сентября попадают в зону II, значит следует прогнозировать грозу.

Далее рассмотрим случай грозы в районе Костаная при юго-западном переносе. Особенностью данного примера является то, что в нем использована информация метеорологического радиолокатора (МРЛ) Костаная. В результате, как мы увидим, проблемы прогноза грозы с момента появления фронта и радиоэха облачности на экране МРЛ практически нет.

**Юго-западный перенос.** Погода в Костанайской области в данный период определялась юго-восточной периферией циклона, центр которого в 00 часов располагался примерно в 400 км к юго-западу от г. Екатеринбурга (рис. 16, 17). Это – обширный, неглубокий (давление в центре около 1005 гПа), невысокий циклон; в виде замкнутого центра он прослеживается до поверхности 700 гПа (рис. 18...19). К 00 часам он находился в стадии молодого циклона. У поверхности земли к этому сроку он был оформлен одной изобарой 1005 гПа. Анализ высотных карт (рис. 17...19) показал, что в дальнейшем циклон будет углубляться. Об этом свидетельствуют следующие факторы. Во-первых, на карте АТ-500 (рис. 19) над циклоном расположена передняя часть слабовыраженной ложбины с циклонически искривленными, расходящимися изогипсами, и вдоль потока происходит смена циклонической кривизны изогипс на антициклоническую; во-вторых, циклону у земли соответствует широкий термический гребень на карте  $OT_{1000}^{500}$ , ось которого проходит с Аральского моря на Нарьян-Мар (рис. 18). Наличие такого широкого гребня подтверждает то, что циклон еще не вступил в стадию окклюдирования, а напротив еще долгое время будет углубляться. Об этом также свидетельствует наличие адвекции холода в тыловую часть циклона и небольшая адвекция тепла в его переднюю часть. Таким образом, циклон будет в ближайшие часы углубляться, но углубление будет не интенсивным, так как над рассматриваемой территорией, как мы видим по карте  $OT_{1000}^{500}$ , наблюдаются небольшие температурные контрасты.

Совместный анализ карт АТ-500 и АТ-700 показал, что движение циклона будет происходить вдоль ведущего потока в северо-восточном направлении на районы Западной Сибири (Рис. 18). Скорость его смещения в 00 часов составляла около 50 км/ч.



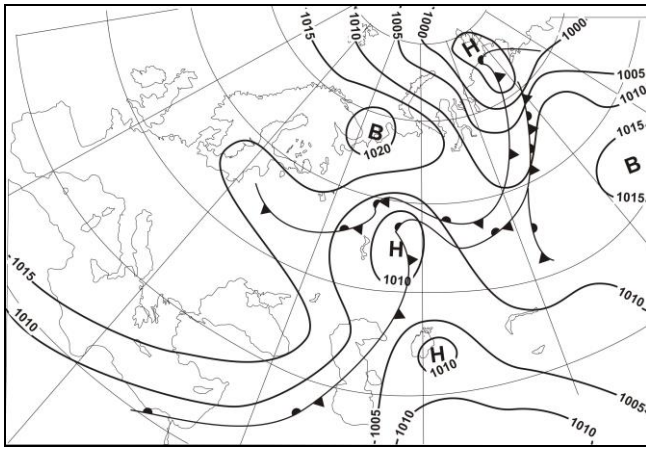


Рис. 16. Карта погоды за 00 ч. мск. 27 июля 1991 г.

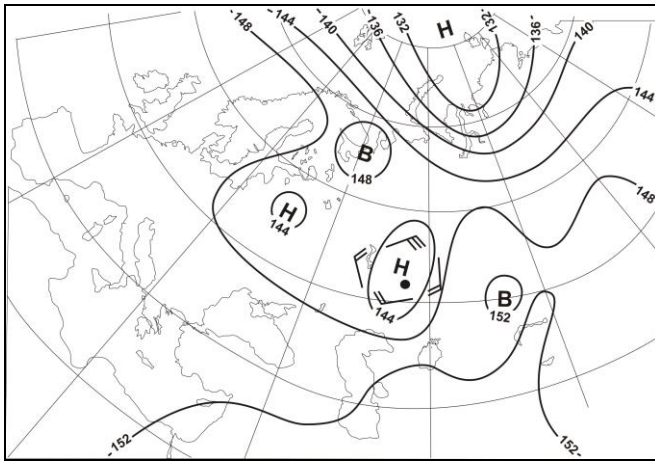


Рис. 17. Карта барической топографии уровня 850 гПа за 00 ч. мск. 27 июля 1991 г.

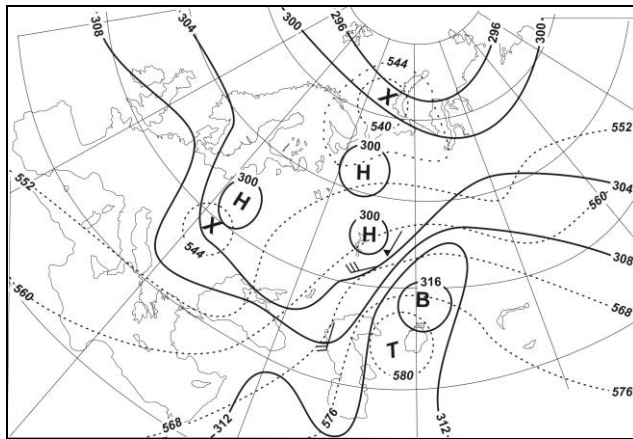


Рис. 18. Карта барической топографии АТ-700 и ОТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> за 00 ч. мск. 27 июля 1991 г.

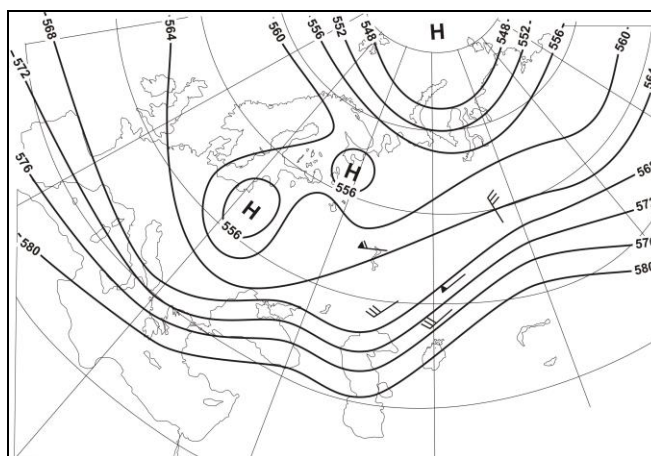


Рис. 19. Карта барической топографии уровня 500 гПа за 00 ч. мск. 27 июля 1991 г.

По карте  $OT_{1000}^{500}$  мы видим, что гребень тепла ориентирован в меридиональном направлении из районов Каспийского моря на Самару и там меняет свое направление на широтное (Рис. 18). Таким образом, холодный фронт, связанный с циклоном, судя по распределению областей тепла и холода, и по направлению ВФЗ, над рассматриваемой территорией расположен меридионально, а теплый фронт – широтно. Широкий теплый сектор в циклоне подтверждает тот факт, что этот циклон находится в стадии молодого циклона. Фронт, на котором произошло образование циклона, является фронтом умеренных широт. Располагается он почти параллельно изогипсам, поэтому его движение определяется только движением циклона. Вместе с центром циклона он смещается на север и очень медленно на восток. На холодном фронте к этому времени развились устойчивые волны, что также замедляет движение фронта к востоку. Эти волны являются устойчивыми, так как развивались они под ВФЗ с малыми температурными контрастами [9]. Сам малоподвижный холодный фронт с волнами сформировался в полосе пониженного давления, которая образовалась в глубокой малоподвижной ложбине. Характерной особенностью такой ситуации является конвергенция воздушных потоков в области фронта. В зоне конвергенции наблюдаются наиболее благоприятные условия для развития конвекции [2, 6, 8...10, 14].

На приземной карте за 00 часов (рис. 20) так же отмечается арктический фронт, движущийся примерно в 500 км за фронтом умеренных широт. В связи с его приближением в период с 27 по 28 июля возникает опасность сближения двух фронтов и усиления процессов влагообразования и углубления.

Анализ кольцевой карты за 12 часов показал, что к 12 ч, т.е. к сроку когда МРЛ, установленный в Костаная, начал фиксировать радиоэхо облачности из зоны осадков (РОЗО), связанные с прохождением фронтов в радиусе его обзора, циклон, как и ожидалось, углубился (рис. 20). Давление в его центре составило в этот срок 1002 гПа. Теплый сектор циклона значительно сузился, то есть началось его окклюдирование. К 12 ч циклон сместился в северо-восточном направлении и находился уже примерно в 150 км к востоку от г. Екатеринбург.

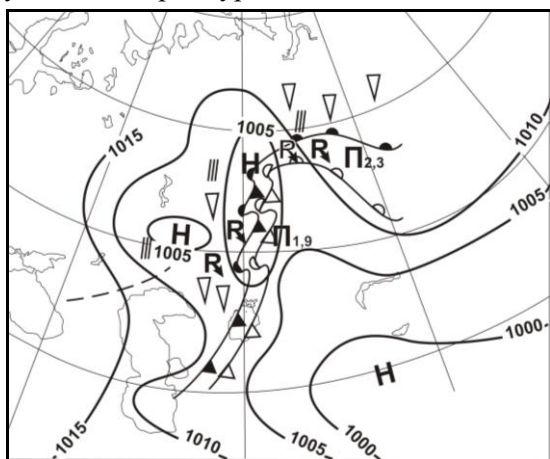


Рис. 20. Кольцевая карта погоды за 12 ч. мск. 28 июля 1991 г.

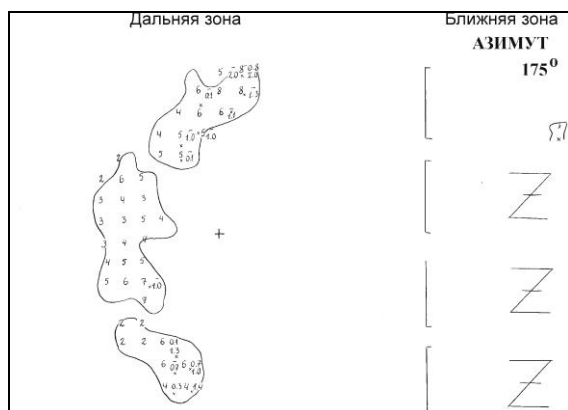


Рис. 21. Радиоэхо облачности в зоне фронт за срок 12 ч. мск. 28 июля 1991 г.  
Z-отсутствие облачности в ближней зоне МРЛ.

В последующем циклон, уже находясь в стадии окклюдирования, будет продолжать углубляться, так как нулевая изотенденция в 12 ч находится в тылу циклона, а в теплом секторе прослеживаются отрицательные изотенденции. Район Костаная в 12 ч находился в теплом секторе, но с

запада к нему приближались два холодных фронта: один размытый и следующий за ним на расстоянии около 120...150 км основной фронт. Размытый фронт в этот срок был примерно в 120 км от Костаная. Согласно данным метеостанций, фронт этот был выражен слабо в поле метеоэлементов, поэтому в данный срок существенного влияния на погоду Костанайской области он не оказывал. В Костаная в 12 часов наблюдалась облачность верхнего яруса (Ac) 1 балл, температура плюс 36 °С, штиль.

По данным МРЛ, в этот срок отмечалось несколько отдельных радиоэхо конвективных облаков (РКО) (рис. 21), расположенных друг за другом и ориентированных с юга на северо-запад, а затем на северо-восток. Длина радиоэха, если не учитывать, что между его отдельными участками есть просветы (эти просветы соответствуют районам смены знака фронта), в этот срок была равна 500 км, а ширина в среднем 80 км. Такая значительная вытянутость радиоэха характерна для фронтальной облачности [1...5, 11, 16] Расположение РКО в 12 ч довольно четко совпадало с местоположением фронта на синоптической карте. Высота верхней границы радиоэха в 12 ч составляла 4...6 км, в центре она доходила до 7 км, а в той части радиоэха, которая расположена к северу от Костаная, даже до 8 км, и в этой же части радиоэха отмечалась максимальная отражаемость на верхнем уровне.

Надо также отметить, что если радиоэхо в какой – либо части имеет расширение, то с большей уверенностью можно предположить наличие в районе этого расширения фронтальной волны, так как уплотнение облачности и увеличение ее горизонтальных размеров является одним из признаков волнообразования на фронтах [1...5, 11]. Так, расширение радиоэха в этот срок в его центральной части подтверждает данные синоптической карты о наличии примерно в 130 км к востоку от Костаная фронтальной волны.

К юго-западу и к югу от Костаная МРЛ обнаруживает зоны ливневых осадков, и к северу от Костаная – грозовой очаг. По данным же метеостанций эти осадки и гроза не отмечались. Вероятнее всего это связано с тем, что сеть наземных метеостанций в рассматриваемом регионе довольно редкая (ближайшая метеостанция находится примерно в 100 км к северо-западу и 200 км к юго-западу от Костаная), и поэтому нет возможности более полно освещать погодные условия области.

К 15 ч давление в центре циклона понизилась до 1001 гПа (рис. 22). За последние 3 часа он сместился в восточном направлении, и

центр его на данный момент находился уже в 100 км западнее Екатеринбурга. В дальнейшем циклон будет заполняться, так как нулевая изотенденция в 15 ч проходит практически по его центру. Вместе с циклоном к востоку продолжала смещаться и фронтальная система, связанная с ним. В 15 ч Костанайская область еще располагалась в теплом секторе, но размытый холодный фронт к этому времени уже находился в 80 км от Костаная. Следовательно, скорость смещения за прошедшие 3 ч составила 10...15 км/ч. В связи с приближением фронта погода Костанайской области начала меняться: кроме облаков верхнего яруса (Ac) появились облака нижнего яруса (Cu средние или мощные, 5 баллов), температура понизилась на 5 °С, но это понижение вероятней всего связано с суточным ходом, ветер составлял до 2...3 м/с.

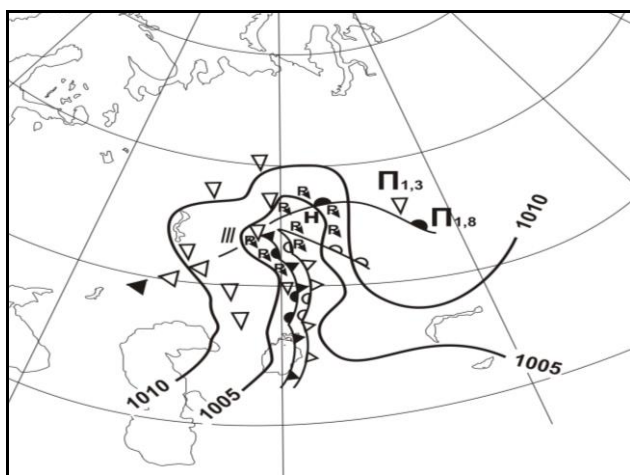


Рис. 22. Кольцевая карта погоды за 15 ч мск. 28 июля 1991 г.

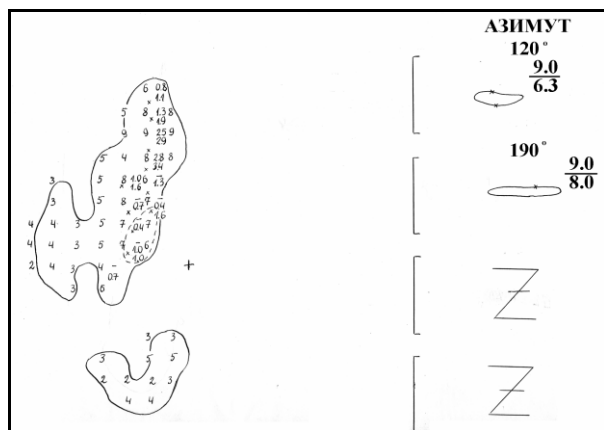


Рис. 23. Радиоэхо облачности за 15 ч мск. 28 июля 1991 г.

МРЛ в 15 ч зафиксировал РКО несколько меньшей протяженности, чем в предыдущий срок (рис. 23) Ориентировано радиоэхо с севера на юг. По его форме можно определить, что связано оно с двумя фронтами, следующими друг за другом. Радиоэхо в этот срок имеет вид двух полос, соединенных узкой перемычкой. К северо-западу от Костаня отмечается фронтальная волна. Высота верхней границы радиоэха и величины отражаемости на верхнем уровне в этот срок увеличились. Как и в предыдущий срок, их максимальные значения наблюдались в северной части радиоэха ( $H_{\max}$  до 9 км,  $LgZ$  – до 3,4), что свидетельствует об интенсивной грозовой деятельности примерно в 200 км к северу от Костаная, что подтверждается и данными метеостанций.

К 18 ч давление в центре циклона возросло до 1003,4 гПа, а тот факт, что через его центр уже проходит положительная изотенденция, свидетельствует о том, что в ближайшее время циклон будет продолжать заполняться (рис. 24). Размытый холодный фронт к этому сроку был отмечен уже в 30 км от Костаная, а основной – примерно в 150 км. Погода Костанайской области к этому сроку изменилась: произошло увеличение количества облаков нижнего яруса до 7...8 баллов, понижение температуры на 2 °С, усиление ветра до 5 м/с. По данным метеостанции в Костане в этот срок отмечалась зарница.

МРЛ в этот срок зафиксировала радиоэхо протяженностью 420 км и шириной в среднем около 120 км (рис. 25). В момент прохождения фронта вблизи Костаная была зафиксирована самая большая площадь радиоэха по сравнению с предыдущими сроками, что возможно обусловлено суточным ходом конвекции [5, 7, 15, 16].

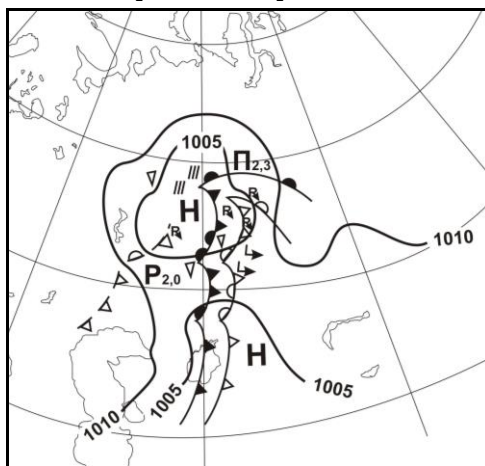


Рис. 24. Кольцевая карта погоды за 18 ч мск. 28 июля. 1991 г.

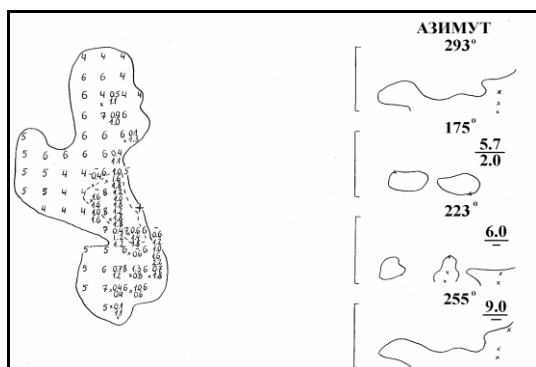


Рис. 25. Радиоэхо облачности и осадков в районе Кустаная в 18 ч. мск. 28 июля 1991 г.

Несколько последующих сроков МРЛ продолжал фиксировать радиоэхо ливней и гроз в зоне малоподвижных фронтов, сместившихся восточнее Костаная. Следует отметить, что грозы и ливни, отмечаемые МРЛ, не всегда подтверждались сетью метеостанций из-за того, что она редкая, а грозы и ливни явление локальное.

Таким образом, в описанной ситуации применение радиолокационных данных позволяло уточнять не только положение фронта, но также и положение зон осадков, грозовых очагов, определять горизонтальные размеры фронтальной облачности, направление и скорость ее смещения. Важную роль эта информация представляла в данном примере также при уточнении положения фронтальных волн и районов смены знаков фронта, так как в этом примере было рассмотрено движение малоподвижных фронтов, которые обычно формируются при наличии малоградиентного барического поля. В таком случае ветры у земли в значительной степени определяются орографическими особенностями. Главное же значение информации МРЛ в данном случае то, что с момента появления радиоэха в зоне наблюдений МРЛ не только прогноз факта грозы, но также конкретное место и время этого явления стало возможным прогнозировать с высокой степенью надежности.

Представляется также реальная возможность оценить доступные облачные ресурсы в зоне атмосферного фронта, а также район и время наиболее целесообразного воздействия на них в случае организации таких работ. Организация таких регулярных воздействий может оказаться даже необходимой в связи с тенденцией изменения климата в регионе [18...20].

Рассматриваемые ранее в [16] связи между параметрами атмосферы перед грозой и вероятностью грозы, конечно, содержат информацию о

грозе и являются предикторами. Еще лучших результатов можно добиться, если использовать характеристики атмосферы в точке, откуда осуществляется перенос воздушной массы и, по возможности, характеристики самого фронта, если гроза фронтального типа. Однако, структура атмосферного фронта достаточно сложна. Воздушные массы и характеристики атмосферы в его зоне характеризуются многослойностью [17]. Существование «полосы доставки» влаги, существующей, как показано в [17], перед каждым фронтом, и имеющей ограниченные поперечные размеры, не гарантирует получение необходимых характеристик для успешного прогноза с помощью существующих обычных систем зондирования атмосферы даже при самых удачных ситуациях [3, 9, 10, 13...15].

Поэтому представляется оптимальным такой порядок прогноза гроз и осадки из доступных влагозапасов облачности. На первом этапе прогнозируется синоптическая ситуация и возможность грозы в принципе. Затем, с появлением облачности атмосферного фронта в зоне видимости МРЛ, использовать его данные для уточнения возможности грозы, времени и места, где это случится. Заблаговременность уточненного прогноза составит в этом случае 3...5 ч, что удовлетворяет авиацию и энергетиков.

Было бы хорошо иметь сеть МРЛ, полностью покрывающую территорию Казахстана. Это позволило бы наблюдать за появлениями облачности и осадков непрерывно, а заблаговременность хорошего прогноза гроз (и осадков) с использованием информации МРЛ увеличивалось бы до полных суток. Однако такой сети МРЛ пока нет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брылев Г.Б. Использование радиолокационных данных в синоптической практике. Л.: Гидрометеиздат. 1977. – 20 с.
2. Вельтищев Н.Ф. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование. Сборник лекций. – Л.: Гидрометиздат, 1988. – 136 с.
3. Дивинская Г.П., Сальман Е.М. Сравнительная эффективность радиолокационных и визуальных наблюдений за облачностью. Труды ГГО, вып. 261, 1969. – С. 14–17.
4. Методические указания по использованию радиолокационных данных в синоптическом анализе и краткосрочных прогнозах погоды. М.: Гидрометеиздат, Вып. 213, 1981. – 20 с.
5. Минакова Н.Е. Радиолокационные характеристики и их связь с параметрами конвекции. Труды ГГО, Вып. 114, 1972. – 18 с.



6. Морозова Е.Н., Ягудин Р.А. О прогнозе ночных гроз в Новосибирской области. Труды НРГМЦ, Вып. 5, 1971. – 86 с.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Часть 1-6. Выпуск 18. Казахская ССР. Кн. 3. – Л.: Гидрометеиздат 1990. – 608 с.
8. Понаморенко С.Н. Синоптико-аэрологические условия возникновения гроз на теплом фронте. Труды ЦИП, вып. 60, 1967. 17-32 С.
9. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 700 с.
10. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.
11. Руководство по производству наблюдений и применению информации радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 334 с.
12. Синоптические процессы Средней Азии // В.А. Бугаев, В.А. Джорджио и др. Ташкент. Изд. АН Узбекской ССР, 1957. – 477 с.
13. Ягудин Р.А. О синоптических и аэрологических условиях ночных гроз. Труды НРГМЦ. Вып. 3, 1969. – 320 с.
14. Ягудин Р.А. Статистико-климатическое описание ночных гроз в Новосибирской области. Труды НРГМЦ. Вып. 1 (5), 1967. – 280 с.
15. Ягудин Р.А. Физико-статистические исследования ночных гроз в Новосибирской области. Труды НРГМЦ. Вып. 5, 1971. – 315 с.
16. Чередниченко А.В. Характеристики радиоэха облачности атмосферных фронтов, осадков и опасных явлений над Северным Казахстаном. «Гидрометеорология и экология», № 2, 2001. – 203 с.
17. Browning K.A. Conceptual models of precipitation system// ESA Journal, № 2, 1985, P.P. 157-180.

Казахский научно-исследовательский институт экологии и климата, г. Алматы  
 Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

### **СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА НАЙЗАҒАЙ ТҮЗІЛУІНІҢ АЭРОСИНОПТИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ**

Геогр. ғылымд. канд.     А.В. Чередниченко

*Әртүрлі синоптикалық үрдістерде найзағай түзілу жағдайы зерттелді. Найзағай ошағының орналасқан жері мен қозғалу траекториясын едәуір нақтылауға мүмкіндік беретін метеорологиялық радиолокаторлар мәліметін қолдану арқылы найзағайдың жекелеген жағдайлары талданды. Берілген мәліметтерді найзағайды және онымен байланысты қауіпті жағдайларды болжауға, сонымен қатар осы аймақтағы бұлттылықтың оңтайлы ылғалқорын бағалау үшін пайдалануға болады.*

