

ПОВТОРЯЕМОСТЬ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ БЫВШЕГО СССР ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА АЭРОДРОМАХ

Н.П. Шакина, Е.Н. Скриптунова, Е.И. Ветрова, А.Р. Иванова, А.А. Желнин

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
chakina@mecom.ru, skript@mecom.ru, ivanova@mecom.ru, azhelnin@mecom.ru*

Введение

Распределение низкой слоистообразной облачности по территории европейской части бывшего СССР, ее суточный и годовой ход, связи с другими характеристиками погоды, повторяемость различных высот ее нижней границы до сих пор остаются недостаточно изученными. Причинами этого являются отсутствие достаточно детальных данных об облачности на станциях (в частности, инструментальных измерений высоты облаков) и в особенности – недоступность для анализа даже тех данных, которые существуют, т. е. отсутствие баз данных, пригодных для обработки в электронной форме. Между тем, данные о низкой облачности и ее характеристиках нужны для изучения и моделирования процессов пограничного слоя, температурного и радиационного режимов тропосферы; для целей верификации численных моделей; а также для обеспечения авиации аэроклиматической информацией и для разработки методов авиационного прогноза погоды.

Со времен ставших уже классическими работ [1, 3, 7, 11], основанных главным образом на данных специальных измерений в одном пункте, заметного прогресса в изучении режима низкой облачности в России не отмечено. В настоящей статье мы в определенной мере восполняем этот пробел, опираясь на данные метеорологических аэродромных наблюдений, передаваемых в телеграммах в коде METAR. Преимущества этих данных состоят в высоком временном разрешении (на аэродромах с интенсивным воздушным движением – 30 мин в течение круглых суток), а также в наличии, как правило, инструментальных измерений высоты нижней границы облаков (ВНГО), которая указывается в телеграммах обычно в пределах нижних 1500 м. Недостатком данных, сообщаемых в коде METAR, является отсутствие информации о формах облаков (кроме Сb) и то, что температура и точка росы округляются до целых градусов. Значительно более информативными являются данные дневников погоды (таблицы АВ-6), однако их данные в электронной форме доступны лишь по отдельным немногим станциям. Создание электронных баз данных дневников погоды является актуальной, насущной задачей, которая, однако, решается крайне медленно.

Телеграммы в коде METAR поступают, в частности, в Гидрометцентр России, где они с 2001 г. архивируются на магнитных дисках без декодирования и контроля. Ввиду ценности содержащейся в них информации, в Отделе авиационной метеорологии Гидрометцентра были предприняты работы по созданию программы их декодирования, исправления наиболее типичных ошибок и помещения информации телеграмм в базу данных, пригодную для компьютерной обработки. После этого производится их критический контроль (вручную). Обнаруженные ошибки по возможности исправляются, в случае же невозможности исправления телеграмма бракуется. В результате этих работ в 2008–2011 гг. были сформированы базы данных наблюдений по 45 аэродромам европейской части бывшего СССР за 2001–2011 гг. и по 41 аэродрому его азиатской части; базы данных оперативно пополняются вновь поступающей информацией.

В настоящей статье излагаются некоторые результаты изучения режима низкой слоистообразной облачности на европейской части бывшего СССР, полученные на основе анализа базы данных аэродромных наблюдений в коде METAR за 10-летний период (2001–2010 гг.).

В анализируемую группу 45 аэродромов включены все аэродромы на указанной территории с достаточно интенсивным воздушным движением, при котором наблюдения проводятся либо круглосуточно через 30 мин, либо в период полетов через 30 мин, а в остальную часть суток – через 1 ч (это имеет место на 6 аэродромах: Анапа, Гомель, Запорожье, Салехард, Сыктывкар, Ульяновск), либо, наконец, через 1 ч в течение суток (Брест, Майкоп, Махачкала, Нальчик). Некоторые аэродромы в течение 10-летнего периода меняли режим наблюдений: например, в начале периода наблюдения производились через 1 ч, затем с какого-то момента стали производиться через 30 мин (Воронеж, Ханты-Мансийск). Происходили и другие изменения, но, как правило, с течением времени количество наблюдений в сутки не уменьшалось.

При анализе данных о количестве облаков формировались подвыборки случаев с облачностью 0–3, ≥ 4 , ≥ 6 и 8 окт. Все статистические характеристики рассчитывались по каждой из подвыборок. Ниже, однако, из-за недостатка места приводятся главным образом характеристики повторяемости сплошной облачности (8 окт), обозначаемой ниже как НО8, и облачности ≥ 6 окт (НО6), как наиболее важных для авиации.

1. Повторяемость низкой облачности, ее сезонный и суточный ход

Повторяемость слоистообразной низкой облачности (НО) сильно варьирует от одного аэродрома к другому в зависимости как от общециркуляционных, так и от местных условий. Влияние местных условий иногда выражено очень сильно, и его не всегда легко объяснить.

Так, сравнивая данные трех основных московских аэродромов, обнаруживаем, что в Домодедове повторяемость низкой облачности как в среднем за год, так и в каждый сезон вдвое ниже, чем в Шереметьеве, и в полтора раза ниже, чем во Внукове. В этих случаях могут играть роль, помимо природных факторов, также особенности сложившейся практики наблюдений. Подобные эффекты могут иметь место и на других аэродромах; исключить их невозможно, они создают своего рода «шум».

В табл. 1 даны средние за год и по сезонам, а также за дневные (6.00–17.30 ч ВСВ) и ночные часы (18 – 5.30 ВСВ) повторяемости низкой облачности в количестве 8 окт (НО8) по всем 45 аэродромам. Везде, кроме Сочи и Мурманска, максимум в годовом ходе наблюдается зимой, минимум – летом. В Сочи хорошо выражен весенний максимум и осенний минимум, в Мурманске годовой ход выражен слабо с максимумом осенью.

В среднем за год повторяемость НО8 максимальна в Риге (36,3 %) и Вильнюсе (35,2 %) и минимальна (кроме Сочи и Мурманска) в Салехарде (2,2 %), Ханты-Мансийске (4,8 %), Самаре (8,6 %) и Анапе (6,3 %). В суточном ходе НО8 почти везде выражен ночной максимум, что представляется естественным следствием существования ночных инверсий температуры. На рис. 1 представлен суточный ход повторяемости НО8 по данным через 30 мин для Шереметьева и Минеральных Вод зимой и летом. Интересно, что суточный ход облачности ≥ 4 и ≥ 6 окт (не показаны) обратен ходу НО8. Следует, однако, иметь в виду, что ночные наблюдения количества облаков вообще не очень надежны: наблюдатель в безлунную ночь может лишь приблизительно оценить эту величину, особенно при неполном закрытии небосвода.

Амплитуда годового хода повторяемости НО8 максимальна в Минске (56,5 %), Вильнюсе (55,9 %), Воронеже (54,2 %), Риге (50,7 %), Гомеле (51,9 %), Донецке (54,3 %), Харькове (53,3 %), Саратове (50,0 %), Кривом Роге (52,7 %), – преимущественно в западной части области, минимальна в пунктах с низкой повторяемостью явления (Мурманск 1,0 %, Салехард 0,4 %, Ханты-Мансийск 4,3 %) на севере области, а также в Сочи (9,8 %), Анапе (13,2 %), Майкопе (17,4 %), т. е. на юге, в Причерноморье.

2. Продолжительность эпизодов непрерывного существования низкой облачности

Эпизодом непрерывного существования низкой облачности будем считать случай непрерывной регистрации облачности в определенной градации количества облаков в течение определенного числа сроков. Допускалось, в пределах эпизода, отсутствие данных за один срок. Так, если в 11.00 ч ВСВ регистрировалась НО8, в 11.30 телеграмма отсутствовала, а в 12.00 снова регистрировалась НО8, то считалось, что и в 11.30 имелась НО8, и эти данные относились к единому эпизоду. Если же, например, в ряде сроков

наблюдалась НО8, а затем в один из сроков (11.30) зарегистрирована НО6, НО4 либо САВОК, и вслед за тем (в 12.00 и далее) снова НО8, то считалось, что в 11.00 закончился один эпизод НО8, а в 12.00 начался следующий.

На всех аэродромах длительные эпизоды низкой облачности наиболее характерны для зимы, затем – для осени. Летом, как правило, такие эпизоды кратковременны и немногочисленны. Минимальное количество эпизодов за месяц отмечено в Волгограде (в августе – три эпизода продолжительностью не более 3 ч) и Ставрополе (4 эпизода также в августе с наибольшей продолжительностью 6–12 ч). В табл. 2 приведены распределение продолжительности эпизодов (в процентах) и общее число эпизодов НО8 за 2001–2010 гг. Снова обращает на себя внимание большая разница в числе эпизодов между московскими аэродромами, как в общем числе эпизодов, так и в проценте кратковременных эпизодов: обе величины минимальны в Шереметьеве. Преобладание (>50 %) эпизодов продолжительностью не более часа, кроме Домодедова, получено в Салехарде, Таллинне, Анапе и Мурманске; наибольший процент эпизодов продолжительностью более 12 ч – в Кривом Роге (25,7 %) и Саратове (23,7 %), минимальный – в Мурманске (1,0 %) и Анапе (1,9 %). Если же оценивать отдельно повторяемость продолжительных эпизодов, то, например, эпизоды, продолжающиеся более 36 ч, отмечены чаще всего в Саратове (131 эпизод за 10 лет) и в Нижнем Новгороде (121 эпизод), тогда как в Мурманске вообще не наблюдается эпизодов НО8 такой продолжительности (как и эпизодов, продолжающихся свыше суток), а в Сочи за 10 лет наблюдалось два таких эпизода.

Рассматривая аналогичные результаты по сезонам (не показаны), находим, что зимой эпизоды продолжительностью более 100 ч отмечались на 8 аэродромах, а наиболее продолжительные эпизоды (238 и 237 ч) зарегистрированы в Харькове, Вильнюсе и Нижнем Новгороде. Почти столь же продолжительные эпизоды, как зимой, характерны для ноября.

3. Распределение случаев низкой облачности в зависимости от относительной влажности у земли

В телеграммах METAR содержатся значения температуры и точки росы в целых градусах Цельсия. По этим данным были рассчитаны относительная влажность RH и затем ее распределение по интервалам 5 %, которое сопоставлялось с соответствующим распределением низкой облачности ≥ 4 , ≥ 6 и 8 окт отдельно для дня и ночи по сезонам. При всех различиях результатов, полученных для различных аэродромов, можно отметить следующие общие закономерности.

Повторяемость RH <70 % в дневные часы в 2–3 раза больше, чем в ночные, тогда как для RH >90 % справедливо обратное. Число случаев низкой облачности возрастает с ростом

RH, причем этот рост более равномерен ночью. В результате возникает своеобразный эффект увеличенной повторяемости низкой облачности днем, по сравнению с ночью, при $RH > 70\%$ (в большинстве пунктов).

Как днем, так и ночью при достаточно высоких RH повторяемость низкой облачности достигает 50 %, а при $RH > 90\%$ она может достигать до 90–95 %. Это указывает на тесную статистическую связь относительной влажности и наличия низкой облачности.

Сопоставление данных о наличии низкой облачности не с синхронными значениями RH, а с наблюдавшимися ранее (за 30 мин и за 1 ч до срока регистрации низкой облачности) также указывает на наличие статистической связи. Таким образом, относительная влажность у земли может быть значимым предиктором низкой облачности. Это справедливо как в среднем за год, так и по сезонам, и не только по отношению к случаям сохранения облачности в определенном количестве, но и к случаям появления облачности.

4. Распределение повторяемости низкой облачности в зависимости от направления ветра

Для количественной оценки такого распределения были рассчитаны 8-румбовые розы ветров на каждом аэродроме и повторяемости низкой облачности ≥ 4 , ≥ 6 и 8 окт для каждого румба в среднем за год и по сезонам, а также для дневных и ночных часов. Основные результаты для НО8 сведены в табл. 3, где представлены румбы максимальной повторяемости ветров (D_m), румбы максимальной повторяемости НО8 (D_m^{HO}), а также повторяемость штилей и слабых ветров переменных направлений (P_{calm} , P_{var}) в среднем за год и повторяемость низкой облачности при этих условиях (P_{calm}^{HO} , P_{var}^{HO}). Кроме того, в таблице даны D_m^{HO} для зимы, среднегодовые значения повторяемости НО8 и среднесезонные для зимы и лета (P_{cp}^{HO}).

Из таблицы видно, в частности, что на многих аэродромах нет явного преобладания какого-либо направления ветра. В то же время обнаруживаются аэродромы с выраженным преобладанием направления наиболее частого переноса низких облаков. Таковы, например, Волгоград, где повторяемость ветров по румбам не превышает 19,5 % (восточный ветер), но при этом повторяемость НО8 зимой при юго-восточном и южном ветрах составляет, соответственно, 61,0 и 49,0 %; С.-Петербург, где максимальная повторяемость ветров по румбам составляет 15,5 % (западный), но среднегодовая повторяемость НО8 в среднем за год при юго-восточных ветрах равна 32,3 %, а за зимний сезон при юго-западных ветрах – 49,9 %; Нижний Новгород с максимальной повторяемостью ветров 14,6 % (южный) и повторяемостью НО8 при юго-западном ветре 41,8 % в среднем за год и 70,5 % в зимний

сезон. К этому же типу относятся аэродромы Шереметьево, Казань, Саратов, Краснодар, Ставрополь, Нальчик, все украинские аэродромы.

Другой класс условий характеризуется выраженным преобладанием одного или двух румбов на розе ветров. Так, в Нижнекамске повторяемость южных ветров равна 23,1 %, а суммарная повторяемость южных и юго-западных – 49,5 %; в Ростове-на-Дону и Минеральных Водах повторяемость восточных ветров составляет 34,0 и 36,4 % соответственно. Одновременно выделяются и направления преобладающей адвекции низкой облачности зимой: западное (59,2 %), юго-восточное (41,1 %) и восточное (63,4 %) в Нижнекамске, Ростове-на-Дону и Минеральных Водах соответственно. К этому же классу относится Махачкала (повторяемость юго-восточных ветров в среднем за год – 24,6 %, а НО8 при этом направлении ветра зимой – 58,6 %) и Уфа (повторяемость южных ветров в среднем за год – 21,3 %, а НО8 при этом направлении ветра зимой – 54,9 %), Рига, Саратов, Астрахань и некоторые другие.

На рис. 2 показаны характерные розы ветров и повторяемости НО8 по румбам ветра у земли для двух аэродромов (Минеральные Воды и Саратов), а на рис. 3 даны направления преобладающей адвекции сплошной низкой облачности по всем рассмотренным аэродромам: выделяются направления западной четверти в северо-западной части карты (кроме Мурманска, где имеется слабо выраженное преобладание северного румба) и восточной четверти в юго-восточной и центральной частях карты. На ряде станций направления преобладающей адвекции сильно отличаются от близлежащих станций (ср., напр., Краснодар и Минеральные Воды на рис. 3), что является результатом влияния местных особенностей (морские побережья, локальный рельеф местности). Кроме того, довольно часто преобладающее направление адвекции, включенное в рис. 3, лишь немного превосходит по повторяемости НО8 какой-либо другой румб. Так, в Таллинне повторяемость НО8 при северо-восточном ветре равна 68,4 %, а при южном – 65,2 %. То есть преобладание того или иного направления адвекции может быть лишь относительным, даже если соответствующая ему повторяемость облачности высока.

На ряде аэродромов высока повторяемость слабых ветров переменных направлений. Это Минск (44,3 %), Домодедово (33,8 %), Архангельск (33,1 %), Сыктывкар (32,2 %), Нижний Новгород (32,9 %). Повторяемость низкой облачности при таких ветрах на большинстве аэродромов ниже средней, но на некоторых аэродромах на юге области существенно превышает среднюю (Майкоп, Нальчик, Астрахань, Одесса, Воронеж). При штилях, повторяемость которых максимальна во Львове (24,2 %), Нальчике (20,8 %) и Мурманске (15,5 %), повторяемость низкой облачности также чаще всего ниже средней, на ряде аэродромов (Сочи, Мурманск, Салехард, Гомель, Краснодар, Махачкала, Запорожье,

Анапа) – на 0,5–5 % выше средней, а в Нальчике, Симферополе и Майкопе, согласно аэродромным данным, повторяемость низкой облачности при штилях выше среднегодовой на 13,4, 6,4 и 6,2 %, соответственно.

В среднем за год максимальная повторяемость НО8 на 14 аэродромах ассоциируется с южными ветрами, еще на 11 аэродромах – с юго-восточными, на двух – с юго-западными, т. е. с ветрами с южной составляющей. Ветры с северной составляющей соответствуют максимальной повторяемости НО8 на 8 аэродромах (в Анапе и Симферополе – северные, в Махачкале, Майкопе, Астрахани и Краснодаре – северо-западные, в Мурманске и Нальчике – северо-восточные).

В зимний сезон, для которого низкая облачность наиболее характерна, картина в общем аналогична среднегодовой, показанной на рис. 3: на 12 аэродромах максимум повторяемости наблюдается при южных ветрах; при юго-западном, юго-восточном, восточном и северном ветрах максимумы повторяемости НО8 наблюдаются на 5, 8, 8 и 4 аэродромах соответственно. Западным ветрам соответствуют резкие максимумы повторяемости НО8 в Нижнекамске (59,2 %), Бресте (59,8 %), Архангельске (47,3 %). Самые низкие зимние максимумы – в Салехарде при северо-восточных ветрах (2,1 %), в Сочи при западных ветрах (10,0 %). Самые высокие (>70 %) максимумы – в Вильнюсе, Нижнем Новгороде, Воронеже и Саратове.

5. Распределение повторяемости низкой облачности в зависимости от скорости ветра

В табл. 4 представлены повторяемости скоростей ветра в различных градациях и соответствующие повторяемости низкой облачности 8 окт в среднем за год и за зимний сезон. Наибольшая повторяемость НО8 соответствует наиболее сильным ветрам – более 8 м/с – на 22 аэродромах из 45, достигая в среднем за год 48,5 % (Уфа) и 44,8 % (Нижнекамск). На 8 и 7 аэродромах, соответственно, максимум повторяемости НО8 приходится на диапазоны 6–8 и 4–6 м/с, и только на пяти (Сочи, Нальчик, Майкоп, Махачкала, Краснодар) он соответствует диапазону 0–2 м/с.

В годовом ходе умеренные и сильные ветры (≥ 6 м/с) наблюдаются чаще всего весной (Киев, Кривой Рог, Кишинев, Ульяновск, Запорожье, Астрахань, Краснодар, Майкоп, Минеральные Воды, Мурманск, Архангельск, Ханты-Мансийск, Минск) или зимой (на остальных аэродромах, кроме Махачкалы, где слабый максимум повторяемости скоростей ветра этой градации имеет место осенью). Реже всего такие ветры бывают летом. Суточный ход характеризуется усилением ветра в дневные часы во все сезоны.

Зависимость повторяемости низкой облачности от скоростей ветра варьирует на разных аэродромах. В ряде случаев прослеживается повышение повторяемости в двух диапазонах скоростей: ≤ 2 и > 8 м/с. Первый из них, лучше выраженный ночью, по-видимому, соответствует подинверсионной облачности, второй – адвективной и, в частности, фронтальной. Первый тип преобладает, например, в Сочи при общей очень низкой повторяемости явления. Второй тип характерен для Казани, Нижнекамска, Уфы (вспомним, что в этих пунктах, как отмечалось выше, имеется ярко выраженное преобладание адвекции низкой облачности с определенного направления, по крайней мере, в зимний сезон).

Имеются и такие пункты, в которых в разные сезоны наблюдаются оба типа распределений (Мурманск, Краснодар, Ростов-на-Дону). На аэродромах московского аэроузла низкая облачность наиболее часто наблюдается при ветрах 4–6 м/с.

Зимой повторяемость НО8 в конкретных диапазонах скоростей достигает 50–60 % (с максимумом 80,9 % в Уфе ночью). Как правило, ночью повторяемость выше, чем днем. В ряде пунктов она превышает 50 % не только зимой, но и в переходные сезоны (чаще осенью). В летнее время наибольшие повторяемости ассоциируются, как правило, с ветрами > 8 или 6–8 м/с и составляют от нескольких до 15–20 % (значение 30 % превышает только в Таллинне, Риге, Львове и Бресте ночью). В среднем за год в 21 пункте максимальная повторяемость НО8 соответствует скоростям более 8 м/с, в 30 пунктах – скоростям более 6 м/с, и лишь в пяти пунктах на юге области, включая Сочи – при скоростях 0–2 м/с, причем только в Нальчике и Махачкале значения этих наибольших повторяемостей высоки (26,8 и 29,2 % соответственно), а в остальных пунктах – не превышают 13 %.

Таким образом, хотя в определенных диапазонах скоростей и при определенных направлениях ветра повторяемость низкой облачности, в частности НО8, высока, однако повторяемость самих этих диапазонов и направлений остается низкой, за редкими исключениями (восточные ветры в Минеральных Водах). Поэтому можно полагать, что информативность характеристик ветра как единственных предикторов низкой облачности будет невысока, однако в комплексе с другими предикторами в каких-то случаях их учет будет полезен.

6. Высота нижней границы облаков

Распределение различных высот облаков на аэродромах за год представлено в табл. 5. Доли случаев даны в процентах от их общего числа за год. Из анализа таблицы можно заключить, что имеется группа аэродромов, на которых наибольшее число зарегистрированных высот нижней границы облаков (ВНГО) находится в диапазоне ≤ 90 м, и другая группа – с максимальной долей случаев ВНГО в пределах от 150 до 300 м. К первой

группе, по среднегодовым данным, при облачности 8 окт относятся 11 аэродромов, из которых наиболее сильно выражен максимум доли ВНГО ≤ 90 м в Салехарде (82,9 %), Запорожье (52,1 %), Ставрополе (50,8 %), Нальчике (46,0 %), Волгограде (43,7 %); ко второй группе – 23 аэродрома, в частности С.-Петербург (34,5 %), все три московских аэродрома (от 44,1 % во Внукове до 27,7 % в Домодедове), Одесса (31,9 %), Воронеж (32,8 %). Наконец, на некоторых аэродромах оба максимума выражены почти одинаково (Мурманск, Ханты-Мансийск, Киев, Краснодар, Вильнюс и некоторые другие). Исключение составляют Сочи, Уфа и Махачкала, в которых слабые максимумы повторяемости ВНГО относятся, соответственно, к диапазонам 1000–1500, 300–450 и 600–1000 м.

В зимний сезон (таблица не приводится) распределение не слишком отличается от среднегодового в большинстве пунктов, хотя доля самых низких облаков приблизительно на половине аэродромов увеличивается. Остальные аэродромы характеризуются тем, что среднегодовая повторяемость ВНГО ≤ 90 м выше зимней. Это является следствием того факта, что в годовом ходе максимум повторяемости этих облаков сдвинут на один из переходных сезонов (чаще на осень) и очень сильно выражен.

Отметим, кроме того, возрастание доли самых низких облаков с возрастанием количества облачности. Это означает, например, что при 4 окт нижняя граница обычно расположена выше 90 м; при 6 окт такая низкая ВНГО обнаруживается несколько чаще, чем при 4 окт, а вся основная масса случаев ВНГО ≤ 90 м наблюдается при полном закрытии небосвода. Так, в Сочи в течение года в среднем такая низкая ВНГО наблюдается 654 раза (при наблюдениях каждые полчаса), из них 16 раз – при облачности 4–5 окт, 130 раз – при 6–7 окт и 508 – при 8 окт.

7. Распределение низкой облачности в зависимости от топографии поля давления

Топография поля давления, как и другие характеристики пространственной структуры воздушных потоков, оценивалась по данным объективного анализа (ОА) из базы Гидрометцентра России (использовались поля давления, геопотенциала, температуры, влажности и ветра в нижней половине тропосферы). Каждому аэродрому ставились в соответствие квадрат и ближайший узел сетки ОА. Расчеты проводились по срокам 00 и 12 ч ВСВ. В качестве данных о наличии или отсутствии низкой облачности использовались данные наблюдений (телеграммы METAR) в срок ОА и в соседние сроки (± 1 ч) по отношению к сроку ОА. Из взятых пяти сроков выбирались случаи наличия низкой облачности, и затем в выборку для анализа включался тот из них, которому соответствовало максимальное количество облаков. Были сформированы и совмещены две выборки за 2001–2010 гг. – одна из базы данных ОА, вторая – из сообщений телеграмм в коде METAR.

Результирующая выборка METAR-ОА содержала от 6 до 7 тысяч случаев по каждому из аэродромов и 294733 случая в сумме по всем 45 аэродромам.

Низкие облака неконвективных форм, регистрируемые телеграммами в коде METAR – это облака St, Sc, а также Ns. Хорошо известно, что облака этих форм образуются и существуют в определенных участках барического поля.

Так, согласно [6, 11], низкие слоистые облака наблюдаются чаще в областях высокого давления, чем низкого: наибольшее число случаев (41 %) низкой слоистообразной облачности типа St-Sc было отмечено в поле высокого давления и, в частности, в гребнях антициклонов (21 %). В таких полях ряд факторов способствует образованию инверсий: упорядоченные нисходящие движения выше слоя трения, радиационное охлаждение воздуха вблизи земной поверхности или у верхней границы облаков. На периферии антициклона наиболее низкие облака образуются в его западной части, где этому способствует адвекция теплого и влажного воздуха. По мере перехода к южной и восточной периферии облака постепенно повышаются и достигают наибольшей высоты в северной части. В областях низкого давления облака St-Sc наблюдаются несколько реже (31 % случаев), главным образом на южной периферии циклона. Остальные случаи этих облаков, согласно [6, 7], распределяются следующим образом: 20 % случаев связаны с фронтами и около 8 % – с размытым барическим полем.

Что касается облаков Ns, связанных обычно с атмосферными фронтами [6, 7, 11], то они характерны для циклонических полей давления. Таким образом, низкая облачность, регистрируемая на аэродромах, может наблюдаться при различной топографии барического поля. Для наших целей представляет интерес объективное (с помощью компьютерных программ) определение синоптических ситуаций, благоприятных либо неблагоприятных для существования низких облаков.

Для количественной характеристики топографии поля давления на уровне моря использовалась программа объективной классификации барической топографии, представляющая собой отдельный блок в программе расчета фронтального параметра [9] и предназначается для идентификации барической ситуации в данном квадрате сетки ОА, относя ее к одному из классов, перечисленных в табл. 6.

Программа рассчитана на работу с сеткой $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$, в которой «квадраты» в средних широтах сильно вытянуты в направлении с севера на юг. Для учета такой «анизотропии» предусмотрено определение барических ситуаций порознь для «верхней» (северной) и «нижней» (южной) половин квадрата географической сетки. В результате применения программы топографической классификации к рядам данных METAR-ОА для каждого

аэродрома, а также к суммарной выборке по всем аэродромам, получены следующие выводы.

Общая выборка по всем аэродромам распределилась по классам барических ситуаций (таблица не приводится) таким образом, что больше всего случаев (45,1 % выборки) сконцентрировано при одинаковых верхней и нижней ситуациях. Это условия, когда барическая ситуация хорошо выражена и определяется одинаково при сдвиге на половину шага ОА по широте. Имеется также немало случаев, когда при таком сдвиге ситуация меняется. Так, в 2796 случаях верхняя ситуация определялась как юго-западная периферия антициклона, а нижняя – как северо-восточная периферия циклона. Такое соседство вполне естественно.

Не вдаваясь в детали, отметим, что, согласно проведенной объективной классификации, полная облачность (НО8) чаще всего наблюдается в следующих ситуациях: ложбина; северо-западная, западная и северная периферии антициклона; северо-восточная, восточная и южная периферии циклона. В сумме, в этих восьми ситуациях отмечено 56,1–58,2 % случаев НО8 (первая цифра соответствует ситуациям в верхней части квадрата, вторая – в нижней). В частности, число случаев НО8, когда ситуация (верхняя либо нижняя) идентифицируется как северо-западная периферия антициклона, равно 8394 при общем числе случаев с этой ситуацией 23473, а соответствующая подвыборка для юго-восточной периферии циклона насчитывает 6148 случаев НО8 при общем числе случаев 17361. Таким образом, повторяемости НО8 равны 35,8 и 35,4 % соответственно. В целом же имеет место повышенная повторяемость НО8 при циклоническом поле давления. Сравнивая подвыборки чисто антициклонических (коды 2, 4, 6–13) и чисто циклонических (коды 3, 6, 14–21) полей, получаем повторяемости НО8, равные, соответственно, 19,1 и 28,6 % при средневыборочном значении 21,5 %.

Таким образом, зависимость от топографии барического поля не является простой. Тем не менее, ее целесообразно использовать при поиске количественных статистических зависимостей для целей прогноза низкой облачности.

Детализацию результатов объективной классификации барических ситуаций по сезонам или по отдельным аэродромам не удастся провести из-за недостаточного объема выборок. Расчет же отдельно по данным за сроки 0 и 12 ч ВСВ показал, что разница в повторяемостях между каждым из этих сроков и суммарной выборкой не превышает 1–2 %.

8. Атмосферные фронты и характер адвекции

Из синоптического опыта известно, что низкая облачность наблюдается как во фронтальных зонах, так и вне их [6, 7, 11]. А priori нельзя поэтому ожидать значимой

статистической связи между параметрами бароклинности и повторяемостью низкой облачности. И действительно, расчеты фронтального параметра [10], горизонтальных градиентов приземной температуры и эквивалентных толщин слоев 850–500 и 925–700 гПа показали, что на всех без исключения аэродромах повторяемость низкой облачности на фронтах и в бароклиных зонах выше, чем в однородных воздушных массах. Так, в Нижнем Новгороде получено двукратное превышение, в Самаре – трехкратное, но чаще обнаруживается превышение на 20–30 %. Для Самары, где повторяемость низкой облачности вообще невысока, фронтальный параметр даже может использоваться как значимый единственный предиктор НО8. В других пунктах такого результата не получено.

Эффект градиентов эквивалентных толщин слоев 850–500 и 925–700 гПа аналогичен, но выражен слабее. Что касается градиента приземной температуры, то он связан с наличием низкой облачности немонотонно: как правило, повторяемость повышена в зонах больших градиентов, но иногда обнаруживается также повышение повторяемости (в ряде случаев значительное) при очень малых градиентах: в Нижнем Новгороде, Шереметьеве, Минеральных Водах. В некоторых пунктах (С.-Петербург, Мурманск, Ставрополь) зависимость повторяемости низкой облачности от градиента приземной температуры не выражена. При этом результаты для всех трех градаций количества облачности вполне аналогичны.

Адвекция температуры на поверхности 850 гПа также рассчитана для всей выборки METAR-OA. Расчеты показали, что в целом на всех аэродромах повторяемость низкой облачности (при любом количестве облаков) увеличена при адвекции тепла в сравнении с нулевой адвекцией. На большинстве аэродромов отмечается и некоторое увеличение повторяемости при адвекции холода. В отсутствие адвекции повторяемость низкой облачности ниже, чем средняя по выборке. Иногда минимум повторяемости смещен на интервал слабой адвекции холода. Это имеет место в Шереметьеве, Нижнем Новгороде, Риге, причем повторяемость НО8 при адвекции тепла, превышающей $0,1 \cdot 10^{-3}$ град/с, более чем вдвое превосходит минимальную повторяемость, полученную при слабой адвекции холода (до $-0,05 \cdot 10^{-3}$ град/с).

9. Вертикальная стратификация и инверсии температуры

Из наблюдений известно [2, 3–5, 8], что слоистые облака часто развиваются под слоями повышенной статической устойчивости, прежде всего под инверсиями. Для выявления таких слоев наиболее эффективны данные температурных профиломеров, дающие детальную картину распределения температуры по вертикали в нижнем слое толщиной в несколько сот метров. К сожалению, такими данными мы не располагаем. Информацию о вертикальной

стратификации мы могли почерпнуть только из объективного анализа. На его основе были рассчитаны вертикальные градиенты температуры воздуха γ ($^{\circ}\text{C}/100\text{м}$) в узле сетки, ближайшем к каждому аэродрому. Результаты сопоставлялись с данными о низкой облачности $\geq 4, \geq 6, 8$ окт.

Обнаружено, что $\gamma(1000-925)$, $\gamma(850-700)$, $\gamma(700-500)$ не связаны статистически с повторяемостью низкой облачности, тогда как величина $\gamma(925-850)$ на большинстве аэродромов оказывается статистически связанной с повторяемостью НО8 (но не НО6 и НО4). По пороговому значению $\gamma(925-850)$, равному $0,5$ $^{\circ}\text{C}/100$ м, на 32 аэродромах из 45 удается со значимой успешностью разделить случаи наличия и отсутствия НО8 (наличие соответствует более устойчивой стратификации, чем при указанном пороговом значении). На остальных 13 аэродромах такая связь либо не выражена, либо малозначима. (Это относится ко всем северным аэродромам, включая С.-Петербург, Ригу и Таллинн, а также к Сочи, Нальчику и Махачкале.) Если характеризовать успешность разделения случаев наличия и отсутствия НО8 по пороговому значению $\gamma(925-850)$ с помощью критерия Пирси PI, то максимальное значение PI, полученное в Волгограде, будет равно $0,50$. Примеры распределений повторяемости НО8 в зависимости от стратификации в указанном слое приведены на рис. 4.

Данный результат показывает, что вертикальная стратификация температуры действительно является важным фактором формирования низкой облачности. В самом деле, величины $\gamma(925-850)$, средние по квадрату сетки объективного анализа, следует рассматривать как весьма грубую оценку стратификации на аэродроме, и, тем не менее, с их помощью получается значимая успешность разделения случаев наличия и отсутствия НО8 на аэродромах в средней полосе России, в Белоруссии, Украине, Поволжье и большей части Северного Кавказа.

Заключение

Создание пригодной для компьютерной обработки базы данных аэродромных наблюдений, передаваемых в коде METAR, позволило впервые получить распределение повторяемости низкой облачности (с нижней границей не более 1500 м) на 45 аэродромах европейской части бывшего СССР. Хотя сеть аэродромных станций не может считаться густой, однако их данные все же дают представление о географическом распределении повторяемости низкой облачности в течение 10-летнего периода (2001–2010 гг.): минимальные значения отмечаются на севере территории, а также на Черноморском побережье Кавказа, максимальные – в Прибалтике. Получены количественные характеристики суточного и годового (как правило, с осенне-зимним максимумом) хода

повторяемости низкой облачности, продолжительности эпизодов ее существования при заданной степени закрытия небосвода (≥ 4 , ≥ 6 и 8 окт). Повторяемость низкой облачности сопоставлена со значениями других наблюдаемых на аэродроме величин, и найдено, что низкая облачность преимущественно наблюдается при высокой относительной влажности у земли. Определены также направления ее преимущественной адвекции, т. е. румбы, которым соответствует максимальная повторяемость низкой облачности: это юго-западное направление в Белоруссии, Прибалтике и на средней Волге, юго-восточное – на Украине и нижней Волге. Выявлены локальные особенности станций в районах со сложным рельефом (горы, морские побережья).

Совместное рассмотрение аэродромных наблюдений с данными объективного анализа позволило получить некоторые оценки зависимости повторяемости низкой облачности от характера барической ситуации (определяемой объективно), наличия атмосферных фронтальных зон, адвекции тепла или холода на поверхности 850 гПа, горизонтального градиента температуры у земли и вертикальной стратификации температуры в слоях 1000–925, 925–850, 850–700, 700–500 гПа. Хотя все перечисленные факторы в определенной степени связаны с повторяемостью низкой облачности, однако только связь с вертикальным градиентом температуры в слое 925–850 гПа достаточно сильно выражена. Вместе с другими отмеченными выше результатами это показывает, что локальные значения относительной влажности и степень устойчивости стратификации в пограничном слое могут быть значимыми синхронными предикторами наличия низкой облачности.

Рассмотрены также распределения повторяемости высот нижней границы слоистых облаков в нижнем полуторакилометровом слое; детально проанализированы данные о наиболее низких облаках (вертикальная видимость ≤ 90 м), влияющих на условия взлета и посадки воздушных судов, и выявлены два максимума повторяемости ВНГО: ≤ 90 и 150–300 м, каждый из которых доминирует приблизительно на половине общего числа аэродромов.

Отмеченные выводы в статье иллюстрируются как средними характеристиками по всем аэродромам, так и примерами для наиболее характерных отдельных аэродромов. К сожалению, в рамках одной статьи не представляется возможным более детальное описание особенностей каждого аэродрома с его локальными условиями. Между тем такие детальные результаты авторами получены, они представляют значительный практический интерес для метеорологического обеспечения авиации. Авторы предполагают поэтому в дальнейшем опубликовать детальные результаты расчета режимных характеристик низкой облачности, а также температуры, влажности, ветра, явлений погоды по отдельным аэродромам в виде справочного пособия. В самом деле, европейская территория бывшего СССР – это обширный регион с интенсивным воздушным движением. Согласно требованиям

ВМО/ИКАО, каждый аэродром и каждая воздушная трасса должны иметь периодически обновляющиеся аэроклиматические описания, в которые, в числе прочих погодных факторов, влияющих на взлет, посадку и полет воздушных судов, включаются сведения о низкой облачности и ее нижней границе. Полученные в процессе нашего исследования результаты могут, в частности, быть полезными при составлении аэроклиматических описаний и различных справок по запросам потребителей.

Список использованных источников

1. *Абрамович К.Г.* Условия образования и прогноз низких облаков // Труды Гидрометцентра СССР. – 1973. – Вып. 78. – 124 с.
2. *Девятова В.А.* Некоторые характеристики слоистообразных облаков // Метеорология и гидрология. – 1973. – № 8. – С. 26–33.
3. *Дубровина Л.С.* Облака и осадки по данным самолетного зондирования. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.
4. *Зак Е.Г.* Характеристика внутримассовой инверсионной облачности по материалам самолетных подъемов // Метеорология и гидрология. – 1938. – № 5. – С. 33–50.
5. *Зак Е.Г., Марфенко О.В.* Структура нижней кромки облачного покрова // Труды ЦАО. – 1952. – Вып. 7. – С. 3–15.
6. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. 711 с.
7. *Лобанова В.Я., Соколова М.В.* Характеристика низкой облачности в зоне атмосферных фронтов // Труды НИИАК. – 1958. – Вып. 5. – С. 42–50.
8. *Селезнева Е.С.* Внутримассовые облака слоистых форм в районе Ленинграда // Труды ГГО. – 1955. – Вып. 027. – С. 3–59.
9. *Шакина Н.П., Калугина Г.Ю., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р.* Субъективный и объективный анализ атмосферных фронтов. 1. Объективные характеристики фронтов, проведенных синоптиками // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 7. – С. 19 – 30.
10. *Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р.* Объективный анализ атмосферных фронтов и оценка его эффективности // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 7. – С. 5–16.
11. *Шишкина Л.Д.* Некоторые характеристики низкой слоистообразной облачности при различных синоптических ситуациях // Труды ЦАО. – 1967. – Вып. 79. – С. 79 – 88.

Поступила в редакцию 3.09.2012 г.

Характеристики повторяемости (%) НО8 в среднем за год и по сезонам в дневные и ночные часы на различных аэродромах

Аэродромы	Сред. год	Зима			Весна			Лето			Осень		
		ср.	ночь	день	ср.	ночь	день	ср.	ночь	день	ср.	ночь	день
Мурманск	7,7	8,2	8,7	7,8	6,8	8,2	5,6	7,2	9,0	5,6	8,9	10,1	7,9
Архангельск	26,9	38,4	40,9	36,8	16,7	20,5	14,1	8,6	11,3	6,6	40,8	41,1	40,7
Салехард	2,2	1,4	1,5	1,4	1,9	2,5	1,4	1,0	1,7	0,4	4,6	5,8	3,6
Сыктывкар	20,9	30,1	33,2	27,8	12,1	14,9	10,0	6,6	8,6	5,0	35,0	37,8	32,8
Ханты-Мансийск	4,8	5,8	6,6	5,0	3,6	4,4	3,0	1,5	2,2	0,8	7,9	9,4	6,5
Таллинн	33,1	56,1	58,0	54,4	22,5	25,2	20,1	11,3	11,7	10,8	41,6	43,4	40,0
С-Петербург	25,4	45,5	46,3	44,7	16,9	17,6	16,2	6,9	7,1	6,8	32,5	31,8	33,2
Рига	36,3	64,1	65,7	62,6	25,3	25,4	25,1	13,4	13,4	13,3	42,7	43,3	42,1
Вильнюс	35,2	65,7	69,1	62,4	22,4	25,3	19,7	9,8	11,9	7,8	42,3	45,9	38,8
Минск	30,0	61,7	64,0	59,4	17,9	19,2	16,5	5,2	5,8	4,7	36,5	37,5	35,4
Н.Новгород	29,7	53,5	58,0	48,9	18,0	19,8	16,2	6,6	7,1	6,1	39,3	41,3	37,4
М.Шереметьево	23,2	44,8	45,4	44,3	11,3	11,3	11,3	4,6	5,5	3,6	32,6	33,5	31,7
М.Внуково	18,8	37,3	38,9	35,8	8,6	9,1	8,2	3,5	4,6	2,2	25,9	26,7	25,0
Казань	21,6	41,0	43,3	38,7	13,6	14,7	12,5	2,4	2,7	2,2	28,7	30,4	27,0
М.Домодедово	12,5	22,1	24,4	19,7	5,6	6,3	5,0	2,8	3,8	1,6	18,8	19,6	18,1
Ульяновск	15,9	31,2	36,8	27,1	8,6	11,2	6,7	1,5	2,0	1,2	21,8	25,3	19,2
Нижекамск	27,9	42,6	46,1	38,9	16,5	18,9	13,7	5,6	6,0	5,0	38,0	38,6	37,4
Уфа	22,6	41,8	46,8	36,6	13,9	15,9	11,9	2,8	3,5	2,1	29,5	31,7	27,1
Самара	8,6	18,0	20,5	15,5	4,8	6,0	3,7	0,6	0,8	0,3	11,3	12,4	10,1
Брест	21,5	48,5	51,0	47,6	12,0	14,6	11,0	3,3	4,7	2,7	21,9	24,6	21,0
Гомель	24,2	54,8	58,0	52,2	10,5	12,4	8,9	2,9	3,5	2,4	30,5	32,1	29,2
Киев	23,0	49,6	51,1	49,0	11,9	12,7	11,1	3,0	3,0	3,0	26,8	26,5	27,2
Львов	22,9	46,3	49,0	43,5	15,6	16,8	14,5	5,7	6,6	4,8	24,2	25,7	22,7
Кривой Рог	22,9	53,5	56,6	50,4	11,6	12,6	10,7	0,7	1,0	0,5	25,9	28,4	23,4
Кишинев	17,5	38,1	41,1	35,1	9,1	9,9	8,2	1,9	2,2	1,6	19,9	21,5	18,4
Одесса	18,6	39,9	42,0	38,0	12,5	13,6	11,5	1,9	2,0	1,8	20,0	20,4	19,7
Симферополь	16,0	35,6	39,8	31,4	11,3	14,2	8,3	1,7	2,5	0,8	14,5	16,7	12,3
Воронеж	25,5	55,4	57,5	53,4	12,0	12,3	11,7	1,2	1,5	0,8	27,2	27,1	27,2
Саратов	24,5	51,1	54,6	47,6	14,7	15,7	13,6	1,1	1,5	0,7	28,2	29,5	26,8
Харьков	28,1	57,4	59,9	55,0	17,4	19,0	15,8	4,1	4,4	3,7	33,5	34,8	32,1
Днепропетровск	21,7	50,6	52,1	49,0	9,9	10,8	8,9	0,7	1,1	0,2	24,2	25,4	22,9
Донецк	23,5	56,0	59,5	52,5	12,3	13,9	10,7	1,7	2,3	1,1	23,7	26,4	21,0
Луганск	15,4	36,1	40,1	32,1	5,9	6,9	4,8	0,3	0,4	0,1	15,1	16,5	13,7
Волгоград	16,3	40,9	44,1	37,6	7,1	8,8	5,4	0,3	0,5	0,2	17,3	18,4	16,1
Запорожье	11,1	27,5	31,3	24,6	4,3	5,8	3,1	0,3	0,6	0,1	12,7	15,2	10,7
Ростов-на-Дону	12,4	31,7	34,9	28,4	4,7	5,6	3,8	0,5	0,7	0,3	13,0	14,7	11,4
Астрахань	18,7	47,0	51,1	42,9	9,8	11,5	8,0	0,3	0,3	0,2	18,7	20,8	16,6
Краснодар	10,8	22,6	24,8	20,4	7,3	8,0	6,6	0,8	0,9	0,7	12,8	13,9	11,6
Ставрополь	11,8	26,1	30,0	22,3	7,6	9,5	5,6	0,4	0,6	0,1	13,2	15,6	10,9
Анапа	6,3	13,7	16,3	12,0	5,7	7,1	4,8	0,6	0,8	0,4	5,1	5,9	4,6
Майкоп	9,4	18,4	19,5	17,6	6,8	7,9	6,0	1,0	1,7	0,5	11,7	13,1	10,6
Мин.Воды	27,5	48,4	54,0	42,7	22,3	24,8	19,5	3,5	4,4	2,6	32,1	37,5	26,7
Сочи	5,7	5,5	6,6	4,6	11,9	14,6	9,1	3,0	4,4	1,6	2,3	2,8	1,8
Нальчик	23,9	44,5	48,4	40,7	19,6	22,2	16,9	2,2	3,2	1,2	28,3	32,5	24,1
Махачкала	26,5	49,9	53,9	46,0	23,2	26,7	19,7	1,0	1,4	0,6	28,1	30,1	26,2

Повторяемость продолжительности эпизодов низкой облачности 8 окт

(указано общее число эпизодов за 2001-2010 гг.)

Аэродромы	Продолжительность эпизода, ч											Ср. число эпизодов за 2001-2010 гг.
	0-1	1-2	2-3	3-6	6-12	12-18	18-24	24-36	36-48	48-96	>96	
Мурманск	50,5	20,5	10,9	12,6	4,6	0,5	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	262
Архангельск	34,1	20,1	11,3	18,4	10,8	3,3	1,7	0,3	0,1	0,0	0,0	320
Салехард	51,1	17,2	8,3	15,5	5,3	2,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	64
Сыктывкар	36,5	30,4	13,0	10,4	6,4	1,6	1,1	0,3	0,1	0,1	0,0	473
Ханты-Мансийск	44,0	13,4	11,1	13,6	12,8	3,9	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	94
Таллинн	50,5	15,7	7,2	11,0	7,8	3,1	2,0	1,5	0,5	0,6	0,1	658
С.-Петербург	32,7	15,9	10,3	17,3	12,6	5,4	2,0	2,3	0,7	0,7	0,1	386
Рига	36,0	16,0	8,5	12,9	11,5	5,5	2,8	3,1	1,3	2,0	0,5	438
Вильнюс	34,2	13,4	8,4	14,5	13,3	6,2	2,9	3,2	1,3	2,2	0,4	387
Минск	33,4	14,7	8,5	15,5	12,8	5,7	2,8	2,9	1,2	1,9	0,4	339
Н.Новгород	30,9	18,0	23,3	8,9	7,4	3,9	2,4	2,4	1,2	1,5	0,1	428
М.Шереметьево	32,0	15,5	9,2	16,4	12,8	6,2	2,9	2,4	0,8	1,4	0,3	283
М.Внуково	49,0	15,2	11,0	11,5	6,8	2,9	1,5	1,0	0,5	0,5	0,1	415
Казань	28,2	13,5	9,4	15,2	16,2	7,2	3,1	3,6	1,3	2,1	0,2	227
М.Домодедово	52,9	13,0	8,7	12,8	7,0	2,8	1,0	1,1	0,3	0,3	0,0	310
Ульяновск	30,5	14,8	9,6	19,3	14,9	5,4	2,8	1,6	0,4	0,7	0,0	243
Нижнекамск	42,6	11,8	8,1	14,0	11,5	5,5	2,3	2,2	0,9	0,9	0,1	332
Уфа	24,2	14,0	10,9	17,9	16,1	7,9	3,4	3,1	0,9	1,5	0,0	212
Самара	33,3	16,2	10,3	16,1	14,4	4,8	2,2	1,4	0,8	0,5	0,0	149
Брест	33,9	17,6	11,8	18,5	12,6	4,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	244
Гомель	30,4	14,1	9,3	17,3	13,3	7,1	3,1	2,9	1,0	1,3	0,1	244
Киев	46,5	14,8	7,3	12,6	8,2	3,9	2,4	2,1	1,1	0,9	0,1	397
Львов	31,0	14,4	9,2	15,2	14,2	6,2	3,5	3,1	1,5	1,6	0,2	278
Кривой Рог	18,8	10,3	9,5	17,3	18,4	9,2	3,9	5,0	2,4	4,2	1,0	166
Кишинев	40,3	15,1	9,3	14,3	10,6	4,3	1,9	2,2	0,7	1,0	0,3	241
Одесса	35,5	17,7	10,2	15,3	9,9	4,1	2,6	2,3	1,1	1,1	0,1	282
Симферополь	44,3	16,5	9,5	12,3	10,1	3,4	1,4	1,4	0,6	0,4	0,1	327
Воронеж	43,3	23,4	5,0	8,2	8,5	4,3	3,1	2,2	1,0	1,0	0,1	319
Саратов	26,0	12,9	8,1	15,6	13,8	8,6	3,9	4,1	3,0	3,5	0,7	184
Харьков	30,9	15,1	9,0	16,9	13,5	5,6	3,2	2,5	1,1	1,8	0,3	334
Днепропетровск	29,2	13,2	9,2	15,4	14,2	7,3	3,4	3,3	1,6	2,7	0,4	203
Донецк	29,9	12,7	9,7	14,6	14,5	7,3	3,8	3,3	1,9	2,0	0,4	247
Луганск	26,1	12,6	9,7	16,4	16,7	8,8	2,9	3,0	1,9	1,6	0,3	136
Волгоград	31,5	15,0	10,5	15,3	13,5	5,6	2,8	3,1	1,3	1,0	0,3	210
Запорожье	26,2	15,1	9,6	17,6	17,9	6,6	2,6	2,5	1,3	0,5	0,1	134
Ростов-на-Дону	37,7	16,4	9,2	20,0	9,4	3,2	1,3	1,3	0,9	0,4	0,0	242
Астрахань	33,4	14,7	10,7	15,8	12,2	5,5	2,4	2,8	0,6	1,6	0,2	255
Краснодар	39,8	17,3	11,9	15,6	9,2	3,2	1,2	0,9	0,5	0,4	0,0	224
Ставрополь	26,1	12,5	10,9	17,8	17,3	7,1	3,0	3,6	0,8	0,8	0,0	144
Анапа	53,2	23,9	8,9	7,8	4,3	1,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	232
Майкоп	31,3	15,9	11,9	16,7	14,2	5,7	2,5	1,3	0,5	0,2	0,0	131
Мин. Воды	38,0	15,9	10,5	13,2	11,0	4,8	2,4	1,8	0,7	1,5	0,2	378
Сочи	48,9	17,1	10,7	12,1	7,7	2,2	0,4	0,8	0,1	0,1	0,0	158
Нальчик	28,9	16,5	11,9	18,6	15,7	3,9	1,5	1,6	0,9	0,6	0,0	232
Махачкала	22,8	12,0	8,2	17,2	18,9	8,8	4,2	3,9	2,2	1,6	0,3	165

Характеристики роз ветров и повторяемость низкой облачности НО8 при различных направлениях ветра, а также при штилях и слабых ветрах переменных направлений в среднем за год, зимний и летний сезоны

Аэродромы	Год							Зима		Лето
	D _{max}	D _{max} ^{но} , P ^{но}	P _{var}	P _{calm}	P _{var} ^{но}	P _{calm} ^{но}	P _{средн} ^{но}	P _{средн} ^{но}	D _{max} ^{но}	P _{средн} ^{но}
Мурманск	S-16,4	NE-17,0	14,0	15,5	3,9	10,9	7,7	8,2	N-18,9	7,2
Архангельск	S-12,9	S-33,4	33,1	5,2	27,0	22,6	26,9	38,3	W-47,3	8,6
Салехард	NE-23,6	S-3,4	9,4	1,4	2,2	5,9	2,2	1,4	NE- 2,1	1,0
Сыктывкар	S-18,5	S-28,3	32,2	7,6	18,3	18,7	20,9	30,1	SE-40,3	6,6
Ханты-Мансийск	S-13,7	E-11,6	29,8	12,3	3,6	2,5	4,8	5,8	E-17,9	1,5
Таллинн	S-16,2	S-43,3	6,2	2,8	26,5	22,6	33,1	56,1	NE-68,4	11,3
С.-Петербург	W-15,6	SE-32,3	26,6	3,8	23,9	23,9	25,3	45,5	SW-49,9	6,9
Рига	S-21,2	SE-46,5	23,5	7,0	30,9	18,2	36,3	64,1	S-68,4	13,4
Вильнюс	S-20,9	SW-52,2	21,4	1,9	23,4	7,6	35,2	65,7	SW-78,0	9,8
Минск	N- 9,9	E-44,9	44,3	13,6	34,4	12,2	30,0	61,7	S-69,0	5,2
Н.Новгород	S-14,6	SW-41,8	32,9	14,9	25,0	13,7	29,7	53,5	SW-70,5	6,6
М.Шереметьево	SW-15,0	SE-38,4	19,1	5,7	12,5	6,7	23,2	44,8	SE-60,6	4,6
М. Внуково	SW-14,8	S-27,4	24,6	5,1	13,2	7,8	18,9	37,3	S-46,1	3,5
Казань	S-20,0	S-31,7	6,1	3,3	8,5	14,2	21,6	41,0	SW-54,0	2,4
М. Домодедово	S-13,4	S-19,4	33,8	5,8	9,6	4,9	12,5	22,1	S-31,7	2,8
Ульяновск	S-21,5	S-19,8	0,4	8,2	8,2	9,8	15,9	31,2	SW-38,5	1,5
Нижнекамск	SW-26,4	S-36,7	0,2	10,1	15,0	17,7	27,9	42,6	W-59,2	5,6
Уфа	S-21,3	S-36,2	18,8	7,9	18,0	11,6	22,6	41,7	S-54,9	2,8
Самара	S -14,5	S-18,9	12,3	2,4	5,0	8,9	8,6	18,0	S-32,8	0,6
Брест	W-15,9	E-28,4	0,1	14,9	6,8	16,8	21,5	48,5	W-59,8	3,3
Гомель	W-15,4	SE-32,7	14,8	0,2	14,8	28,5	24,0	54,6	S-67,0	2,9
Киев	S-12,7	SE-36,6	23,6	3,5	14,3	13,7	13,5	49,6	SE-63,9	3,0
Львов	SE -13,3	W-31,0	18,8	24,2	20,0	23,5	16,7	46,3	NE-64,1	5,7
Кривой Рог	N-13,5	SE-34,9	16,0	5,5	20,7	22,0	18,4	53,5	SE-66,7	0,8
Кишинев	N-16,8	E-35,5	26,3	7,1	12,4	13,0	12,4	38,1	E-62,2	1,9
Одесса	N-17,8	E-27,7	16,0	6,0	17,6	19,4	9,9	40,0	E-65,0	1,9
Симферополь	NE-18,7	N-32,4	18,8	3,2	11,7	11,4	22,4	35,6	N-60,5	1,7
Воронеж	SE-14,6	S-42,2	12,0	10,3	20,5	16,5	11,8	55,3	S-71,0	1,1
Саратов	S-20,2	S-39,3	14,1	1,6	17,3	16,2	18,9	51,1	S-71,9	1,1
Харьков	E-15,1	S-41,5	12,8	11,1	21,8	19,2	17,0	57,4	S-68,5	4,1
Днепропетровск	NE-13,9	S-34,8	9,4	8,6	19,5	18,7	21,6	50,6	S-59,0	0,7
Донецк	E-16,7	SE-30,2	11,2	12,0	17,1	19,2	15,8	56,0	E-62,7	1,7
Луганск	E-19,0	E-21,3	8,6	17,6	8,1	10,0	13,4	36,1	E-48,8	0,3
Волгоград	E-19,5	SE-26,1	9,0	5,8	6,5	6,8	15,8	40,9	SE-61,0	0,3
Запорожье	E-11,8	SE-22,7	17,4	11,5	7,4	9,4	12,0	27,5	S-40,8	0,3
Ростов-на-Дону	E-34,0	E-17,3	9,2	3,6	9,0	9,3	8,0	31,7	SE-41,4	0,5
Астрахань	E-24,2	NW-22,3	0,2	5,1	21,3	21,3	14,3	46,9	SE-60,6	0,3
Краснодар	NE-20,2	NW-16,9	6,0	12,2	7,6	6,7	13,6	22,6	NW-40,1	0,8
Ставрополь	SE-19,8	SE-18,3	6,8	2,9	7,4	6,0	10,2	26,1	E-46,5	0,4
Анапа	NE-21,4	N-11,5	0,9	2,7	5,7	5,6	7,1	13,6	N-33,3	0,5
Майкоп	E-24,7	NW-16,5	0,0	6,6	22,2	22,2	15,6	18,3	N-40,7	1,0
Мин. Воды	E-36,4	E-41,1	7,7	8,5	13,5	14,4	20,6	48,4	E-63,4	3,5
Сочи	E-30,2	SE-10,0	15,3	12,1	5,9	5,9	9,9	5,5	W-10,0	3,0
Нальчик	SW-15,6	NE-32,7	0,4	20,8	52,4	52,4	37,6	44,8	E-54,9	2,2
Махачкала	SE-24,6	NW-38,1	0,3	5,9	26,7	26,7	31,9	50,0	SE-58,6	1,0

**Повторяемость низкой облачности (8 окт) в различных диапазонах скоростей ветра у земли,
м/с, в среднем за год и за зимний сезон**

Аэродромы	Год										Зима			
	≤2		2-4		4-6		6-8		>8		4-6		6-8	
	Р	Рно	Р	Рно	Р	Рно	Р	Рно	Р	Рно	Р	Рно	Р	Рно
Мурманск	51,0	8,8	35,4	6,6	11,7	5,4	1,6	12,7	0,3	22,1	10,7	7,1	1,8	15,4
Архангельск	38,8	23,8	37,7	28,8	19,1	27,3	3,8	35,0	0,6	36,4	20,4	43,8	4,4	53,0
Салехард	22,5	3,2	29,4	2,3	31,0	1,2	11,1	0,8	6,0	6,0	26,5	0,4	8,3	1,0
Сыктывкар	42,2	19,5	38,3	21,9	16,1	21,5	3,1	24,3	0,3	29,9	18,7	31,7	4,4	35,7
Ханты-Мансийск	39,3	3,4	36,3	5,0	18,6	6,2	5,0	8,4	0,8	8,9	21,1	8,4	5,4	13,5
Таллинн	27,1	26,9	40,0	33,8	22,7	37,8	7,7	36,4	2,4	38,5	24,5	59,3	10,0	54,6
С-Петербург	32,6	22,1	39,7	25,6	19,5	28,7	6,4	29,1	1,7	28,3	23,5	48,1	9,5	43,8
Рига	31,4	27,7	38,5	37,1	21,5	43,7	7,1	45,6	1,5	46,5	24,7	69,8	9,9	67,2
Вильнюс	29,6	25,4	35,5	36,4	25,0	42,0	8,3	43,1	1,6	41,4	29,7	68,4	12,4	64,3
Минск	55,5	26,4	31,0	35,5	10,7	34,2	2,3	27,9	0,4	17,1	12,8	61,6	2,8	52,0
Н.Новгород	45,1	22,5	36,0	34,1	14,8	37,4	3,7	42,7	0,3	43,5	18,2	59,4	5,5	56,5
М.Шереметьево	27,6	13,5	40,3	25,0	23,7	30,1	7,1	27,4	1,3	20,8	27,5	52,1	8,6	48,5
М.Внуково	28,7	13,9	40,4	20,0	22,1	22,8	7,5	20,6	1,3	16,1	25,2	43,8	9,4	37,5
Казань	21,5	16,8	36,8	18,0	23,8	24,7	10,9	30,0	7,1	31,6	26,1	41,1	14,7	46,0
М.Домодедово	37,6	8,8	35,7	14,1	19,4	15,9	6,4	15,4	1,0	13,3	24,8	28,2	9,0	25,8
Ульяновск	23,4	12,3	32,6	15,0	23,8	18,6	12,4	19,0	7,9	17,3	26,6	33,8	13,3	35,3
Нижнекамск	21,2	18,5	25,1	21,6	26,1	29,9	15,3	34,5	12,2	44,8	26,9	42,7	16,7	49,7
Уфа	43,7	14,8	29,7	22,4	16,6	31,6	6,9	39,4	3,0	48,5	17,3	57,5	8,5	68,2
Самара	24,5	6,6	38,6	7,0	22,9	9,8	9,9	12,9	4,2	19,1	24,8	19,6	11,8	25,9
Брест	40,0	16,6	41,3	23,3	12,7	27,6	4,8	28,9	1,3	25,3	14,4	60,7	5,8	56,9
Гомель	25,2	17,4	35,8	22,7	31,5	29,8	6,3	28,4	1,2	25,0	40,3	57,7	8,6	57,0
Киев	31,7	17,3	39,6	23,4	20,8	29,9	6,4	25,6	1,6	27,1	26,2	51,9	7,7	44,5
Львов	47,3	19,9	29,6	25,0	17,1	25,6	5,0	27,9	1,1	27,4	21,0	44,6	7,1	47,6
Кривой Рог	23,1	18,6	37,0	22,3	30,0	26,4	7,6	24,6	2,2	26,0	36,1	53,2	9,1	52,7
Кишинев	39,5	14,1	34,0	20,0	18,4	20,4	6,5	16,7	1,7	15,0	20,6	38,3	7,5	31,4
Одесса	24,2	12,7	31,2	18,4	27,8	21,7	13,3	21,4	3,6	25,8	31,0	43,1	15,9	38,0
Симферополь	19,8	16,7	39,1	12,2	21,1	16,7	11,2	18,8	8,8	25,9	23,6	32,1	14,0	35,9
Воронеж	28,3	16,9	34,6	25,3	27,7	31,1	7,0	33,6	2,3	38,3	32,7	60,7	9,2	64,6
Саратов	22,3	17,9	33,9	23,4	33,1	27,6	8,5	31,2	2,2	36,8	35,4	55,1	11,5	50,3
Харьков	31,5	20,0	37,0	29,4	22,0	34,5	7,7	34,7	1,8	35,8	27,6	59,2	10,6	57,6
Днепропетровск	23,9	20,1	37,4	20,9	24,7	23,2	11,1	23,1	2,9	26,8	28,6	47,5	14,4	44,8
Донецк	26,5	16,4	33,2	22,3	24,5	27,6	10,9	30,9	4,9	32,1	28,6	57,3	15,0	58,2
Луганск	28,0	13,6	31,4	14,2	23,4	16,9	12,2	17,7	5,0	21,3	26,2	36,0	16,8	33,2
Волгоград	18,5	14,7	34,3	14,1	26,4	18,0	13,8	19,0	7,0	20,0	28,0	42,5	17,6	40,3
Запорожье	30,8	11,0	36,9	12,2	22,4	10,7	7,9	8,1	2,0	8,0	27,0	24,0	9,6	20,4
Ростов-на-Дону	27,1	11,1	33,3	11,0	22,7	13,3	9,4	14,7	7,5	18,1	25,0	33,1	11,3	33,0
Астрахань	24,7	15,3	34,1	18,6	24,5	21,1	12,8	21,3	4,0	17,6	26,6	48,9	14,4	49,3
Краснодар	37,0	12,2	31,6	11,0	20,7	9,6	6,9	8,4	3,8	6,8	22,5	19,5	7,1	15,8
Ставрополь	21,4	9,0	35,3	8,8	27,2	14,7	9,8	17,3	6,3	16,5	27,5	31,2	11,0	35,5
Анапа	20,1	6,0	25,8	6,2	33,6	6,6	12,0	6,9	8,5	4,9	33,0	14,6	14,2	11,0
Майкоп	50,0	11,2	32,1	8,2	10,9	7,4	4,2	5,6	2,8	5,2	10,2	9,9	4,0	8,3
Мин. Воды	39,4	21,1	31,1	27,6	17,7	35,8	9,0	37,3	2,9	33,7	20,7	59,0	11,2	59,4
Сочи	52,0	7,8	34,4	3,9	11,6	2,3	1,8	2,9	0,2	3,7	17,1	2,7	3,3	3,1
Нальчик	84,3	26,8	14,2	10,2	1,2	7,7	0,2	4,5	0,1	3,4	0,7	25,8	0,1	0,0
Махачкала	23,9	29,2	36,7	23,9	23,7	27,5	10,5	27,5	5,2	26,9	22,8	52,4	9,5	52,5

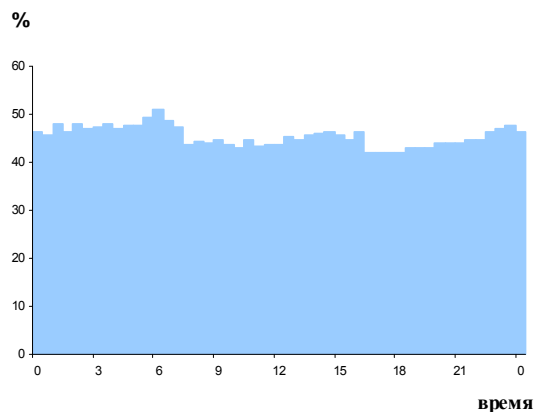
Доля случаев НО8 в различных диапазонах ВНГО в среднем за год

Аэродромы	ВНГО, м							Число случаев
	≤ 90	90-150	150-300	300-450	450-600	600-1000	1000-1500	
Мурманск	28,0	20,6	25,9	11,2	8,4	5,8	0,1	10460
Архангельск	12,5	18,8	33,2	18,5	7,8	0,6	0,2	19678
Салехард	82,9	10,5	5,5	0,5	0,2	0,4	0,1	2807
Сыктывкар	8,9	10,5	33,8	18,4	8,8	13,3	6,3	22572
Ханты-Мансийск	35,7	29,1	32,6	1,9	0,3	0,3	0,1	5621
Таллинн	14,2	17,9	33,4	13,6	7,1	10,1	3,8	49286
С-Петербург	10,0	11,6	34,5	16,1	9,1	12,4	6,4	41311
Рига	14,0	12,0	24,7	15,5	10,8	14,7	8,4	62577
Вильнюс	30,2	19,9	27,0	10,4	5,0	5,3	2,2	57689
Минск	27,5	15,3	24,6	12,3	8,1	8,0	4,3	47709
Н.Новгород	6,4	10,1	38,7	22,8	11,2	9,1	1,7	45232
М.Шереметьево	7,6	12,0	42,8	20,6	7,7	7,1	2,2	35842
М.Внуково	13,6	16,9	44,1	13,7	5,4	5,3	0,9	30009
Казань	11,3	11,2	30,1	16,7	9,9	13,9	7,0	34058
М.Домодедово	21,1	16,4	29,7	14,3	7,2	9,3	2,0	19771
Ульяновск	5,5	7,8	30,9	24,0	13,2	13,8	4,7	22158
Нижекамск	15,7	18,6	31,5	14,7	8,0	9,0	2,5	34356
Уфа	5,4	5,4	21,7	22,6	16,9	20,0	7,9	29811
Самара	26,2	28,9	43,2	1,3	0,2	0,0	0,0	14707
Брест	14,4	18,3	32,7	14,9	10,4	8,6	0,7	11194
Гомель	22,5	13,4	27,7	14,0	7,6	10,7	4,1	24153
Киев	21,3	12,6	24,5	15,1	10,9	10,8	4,9	38206
Львов	20,0	16,2	25,2	10,3	7,4	12,7	8,3	38815
Кривой Рог	23,0	12,7	26,7	14,3	8,2	11,3	3,8	38395
Кишинев	26,1	11,6	22,4	11,3	8,0	12,0	8,5	25547
Одесса	21,1	14,3	31,9	15,4	8,4	6,6	2,2	30093
Симферополь	30,1	13,3	20,5	11,7	7,1	10,6	6,6	26230
Воронеж	21,8	22,0	32,8	11,4	5,1	5,1	1,8	23724
Саратов	30,2	14,4	23,1	12,6	7,2	9,2	3,3	37387
Харьков	14,9	11,3	31,1	15,6	12,0	11,9	3,2	45669
Днепропетровск	35,2	15,0	25,9	10,1	5,5	6,4	1,8	33301
Донецк	30,9	19,9	32,1	10,3	4,2	2,1	0,5	39368
Луганск	33,9	20,8	32,6	10,7	1,5	0,5	0,0	20853
Волгоград	43,7	15,0	20,0	8,5	6,1	5,6	1,2	26488
Запорожье	52,1	21,6	24,0	1,4	0,6	0,3	0,0	14153
Ростов-на-Дону	37,4	16,0	27,8	10,7	5,1	3,0	0,0	20573
Астрахань	14,6	11,5	28,4	17,4	10,4	12,9	4,7	30506
Краснодар	21,9	8,6	20,4	12,4	9,0	15,3	12,4	16467
Ставрополь	50,8	20,7	23,4	3,3	1,0	0,8	0,0	17787
Анапа	13,2	13,5	36,7	14,8	7,4	10,1	4,2	7446
Майкоп	15,0	15,4	25,0	16,3	9,9	13,3	5,1	8667
Мин. Воды	28,7	15,9	24,3	11,6	6,7	7,9	4,9	41789
Сочи	5,9	6,6	19,2	17,0	13,6	17,8	19,9	8545
Нальчик	46,0	10,2	19,4	8,0	5,6	7,2	3,6	12682
Махачкала	10,7	7,9	18,0	16,1	17,0	23,9	6,3	14978

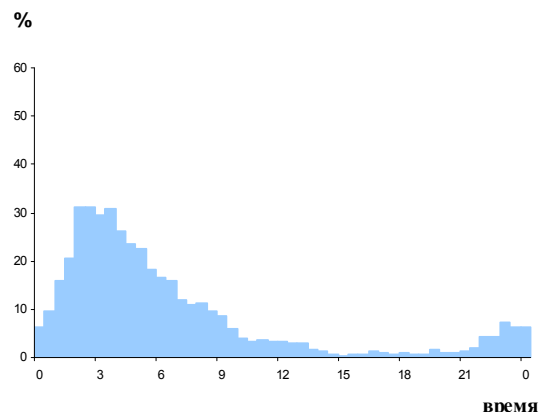
Топографическая классификация барических ситуаций

Цифра кода	Ситуация	Цифра кода	Ситуация
0	малогradientное поле	12	южная
1	седловина	13	северная
2	центр антициклона	<i>Периферия циклона</i>	
3	центр циклона	14	юго-западная
4	гребень	15	северо-восточная
5	ложбина	16	северо-западная
<i>Периферия антициклона</i>		17	юго-восточная
6	северо-восточная	18	западная
7	юго-западная	19	восточная
8	юго-восточная	20	северная
9	северо-западная	21	южная
10	восточная	22	прямолинейные изобары
11	западная	23	неидентифицированные поля

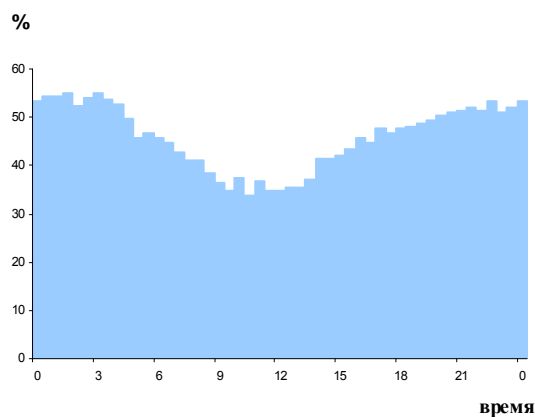
Шереметьево
Зима



Лето



Минеральные Воды
Зима



Лето

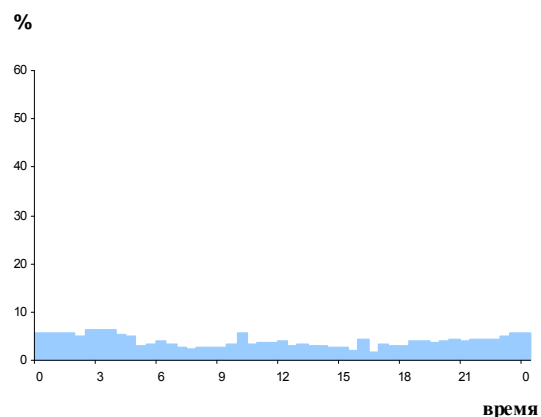


Рис. 1. Суточный ход повторяемости (%) сплошной низкой облачности (НО8) в Шереметьево (вверху) и в Минеральных Водах (внизу) зимой и летом (по оси абсцисс – ВСВ в часах).

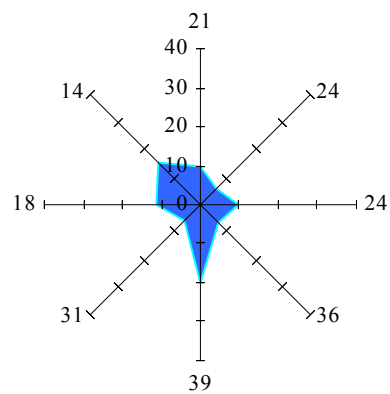
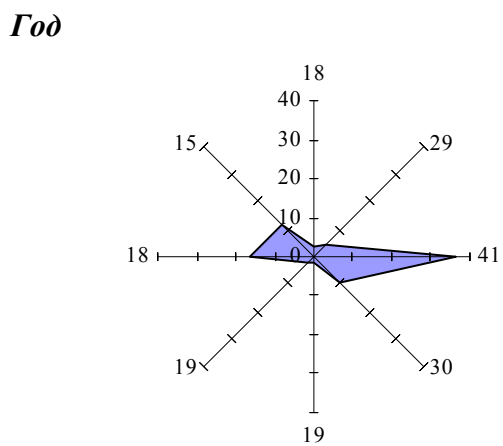
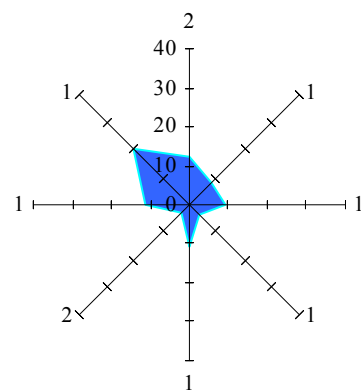
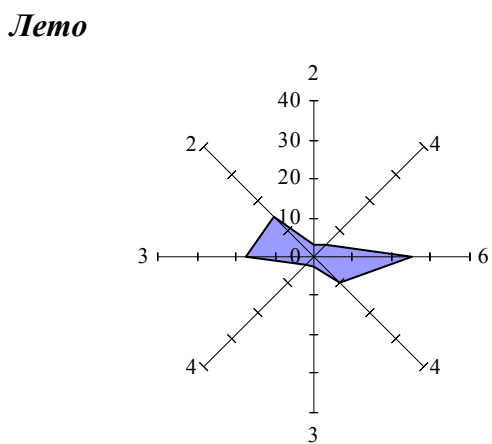
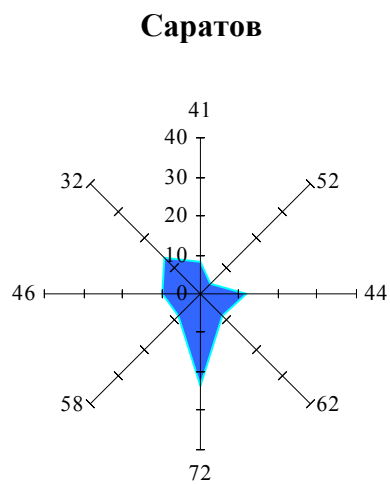
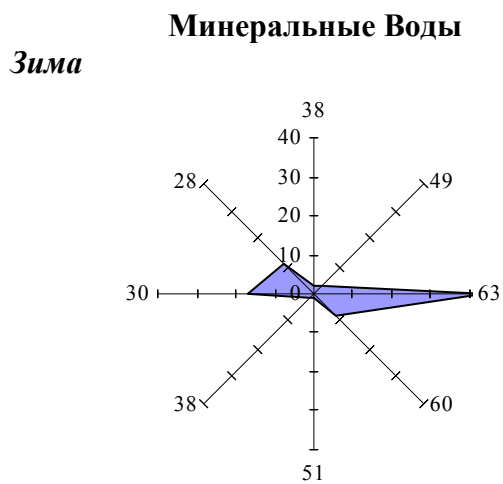


Рис. 2. Розы ветров для зимнего и летнего сезонов и в среднем за год в Минеральных Водах и Саратове: цифры у лучевых линий показывают повторяемость НО8 (%) при ветрах соответствующего румба.

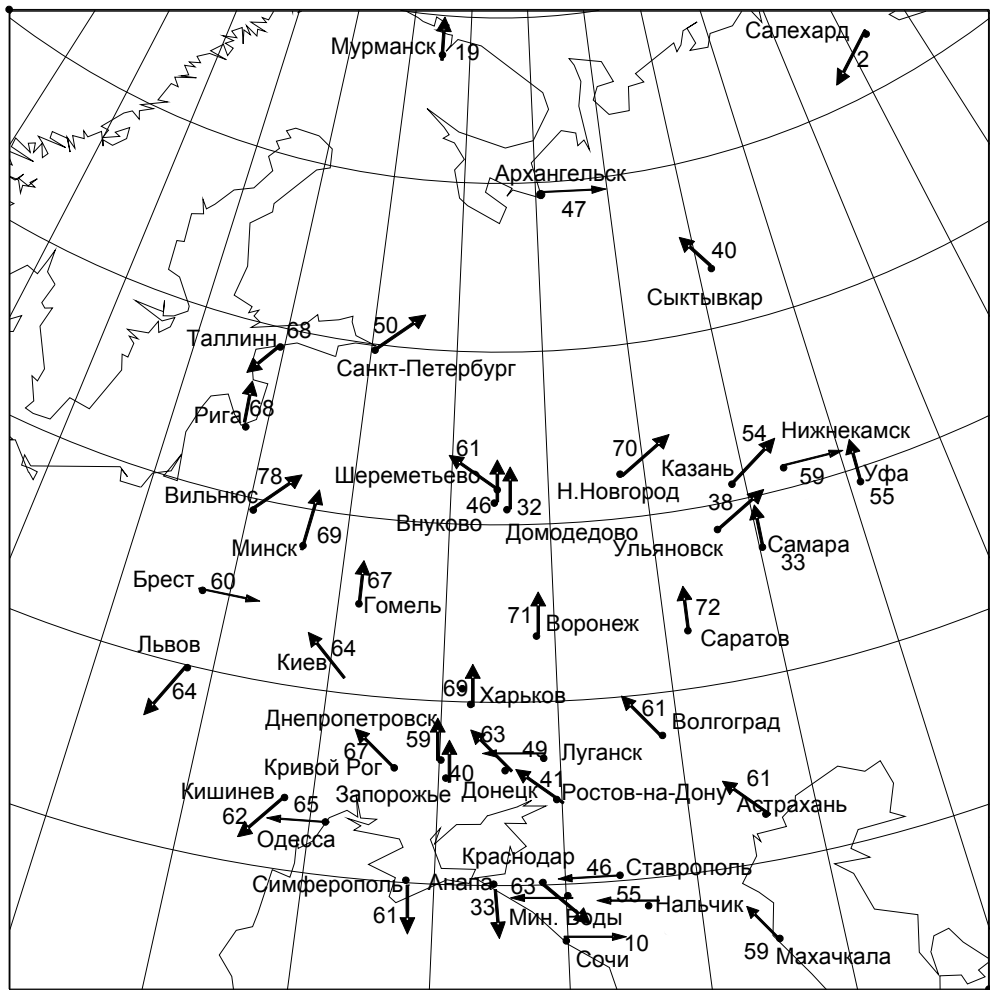


Рис. 3. Карта преимущественных направлений адвекции низкой облачности на аэродромах европейской части бывшего СССР в зимний сезон: повторяемость НО8 (%) указана цифрами рядом со стрелками.

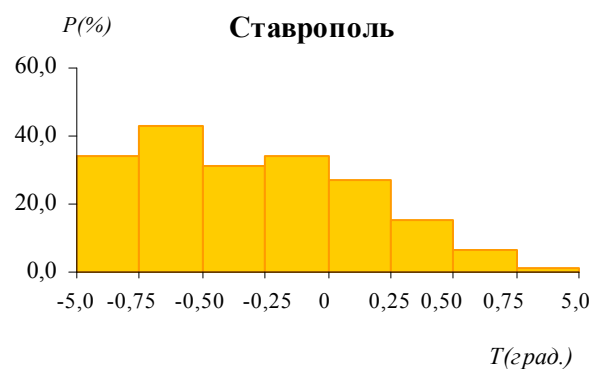
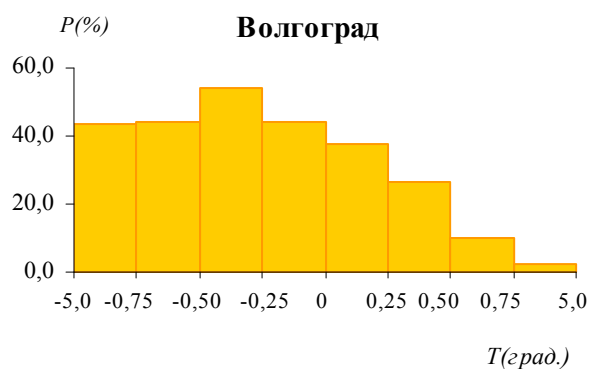
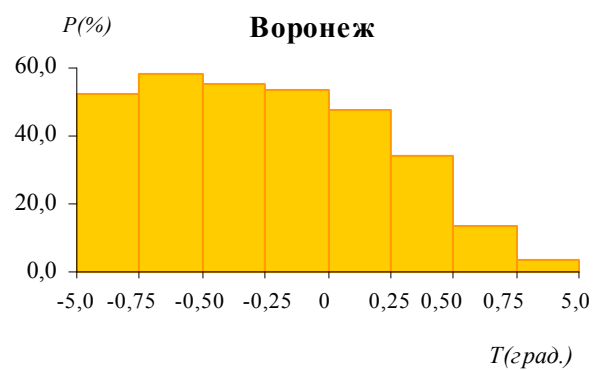
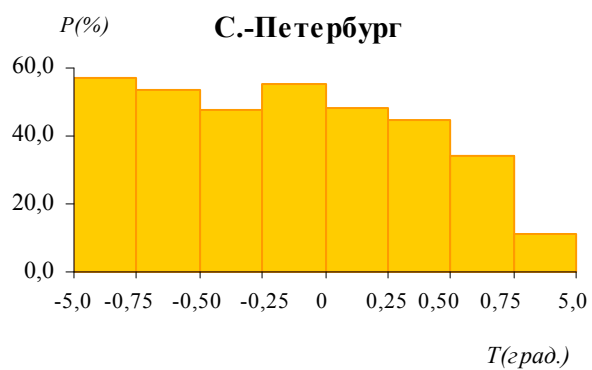


Рис. 4. Зависимость повторяемости низкой облачности 8 окт от вертикального градиента температуры γ в слое 925-850 гПа ($^{\circ}\text{C}/100$ м): отрицательные значения γ соответствуют инверсионной стратификации.