



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал в г.Туапсе

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Оценка изменчивости режима туманов в Волгоградской области»

Исполнитель Дробот Т.А.

Руководитель доктор географических наук, профессор Дробышев А.Д.

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

« 19 » июня 2016 г.



Туапсе
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
филиал в г.Туапсе

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Оценка изменчивости режима туманов в Волгоградской области»

Исполнитель Дробот Т.А.

Руководитель доктор географических наук, профессор Дробышев А.Д.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

«____» _____ 2016 г.

Туапсе
2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1 Общая физико–географическая характеристика исследуемой территории.....	5
1.1 Геология и рельеф	5
1.2 Растительный покров и почвы.....	8
1.3 Климат	10
Глава 2 Особенности образования туманов	16
2.1 Метеорологические процессы, формирующие туманы.....	16
2.2 Синоптические условия образования туманов	21
2.3 О прогнозировании туманов	24
Глава 3 Пространственно-временной режим туманов.....	30
3.1 Распределение по территории климатических характеристик туманов	30
3.2 Изменчивость режима туманов в годовом и межгодовом ходе	35
Заключение.....	43
Список использованной литературы.....	45

Введение

Туман, существенно уменьшающий видимость в атмосфере, затрудняет движение железнодорожного, водного и дорожного транспорта, не позволяя вовремя принимать адекватные решения. Особенно неблагоприятным является туман для авиации, так как летчику при посадке и взлете самолета необходимо мгновенно реагировать на положение взлетно-посадочной полосы. Иначе возможны авиакатастрофы и гибель людей. Между тем, плохая видимость продолжает оставаться основной причиной авиакатастроф и аварийных ситуаций на дорогах.

Анализ состояния вопросов климатологии, прогнозирования туманов, естественного и искусственного воздействия на них показывает, что в этой области имеется еще целый ряд не до конца решенных вопросов, которые требуют проведения дальнейших экспериментальных и теоретических исследований. Поэтому выполненная дипломная работа, посвященная изучению пространственно-временной структуры туманов в Волгоградской области, является **актуальной**.

Объект исследования: туманы

Предметом исследования являлось выявление особенностей образования и распределение туманов по территории и во времени.

Ее **целью** является оценка пространственно-временной изменчивости туманов.

Для выполнения поставленной цели определены следующие **задачи**:

1. Дать физико-географический анализ распределения по территории среднего и наибольшего числа дней с туманом, суммарной и непрерывной их длительности;
2. Изучить особенности годового хода климатических характеристик туманов;
3. Выявить типовые синоптические процессы образования и развития туманов;

4. Рассмотреть методы прогнозирования и рассеяния туманов.

Структура работы состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе рассмотрены общие физико-географические особенности Волгоградской области;

Во второй главе выявлены синоптико – метеорологические и климатические условия образования, развития и ослабления туманов;

В третьей главе дан анализ изменчивости туманов по территории, в годовом и межгодовом ходе, а также рассмотрены вопросы технологии их прогнозирования.

Информационной и методической базой исследования явились материалы климатических справочников по температуре, осадкам, ветру, атмосферным явлениям (за периоды с 1936 по 1960 гг., с 1936 по 1980 гг., с 2008 по 2013 гг.). Использовалась также учебная и научная литература по вопросам метеорологии, синоптики и климатологии туманов на территории России и других регионов.

Общий объем дипломной работы составляет 47 страниц, в том числе включает 16 таблиц, 4 рисунка и список литературы из 32 наименований.

Глава 1 Общая физико–географическая характеристика исследуемой территории

Волгоградская область находится в юго-восточной части Русской равнины (рис. 1.1). Соседними с ней областями являются Саратовская и Воронежская (на севере), Ростовская (на юго-западе), Астраханская (на юго-востоке). На юге она граничит с республикой Калмыкия, а на востоке - с Казахстаном. Территория вытянута с севера на юг на 400 км. Протяженность ее границы составляет более 2 тысяч км.

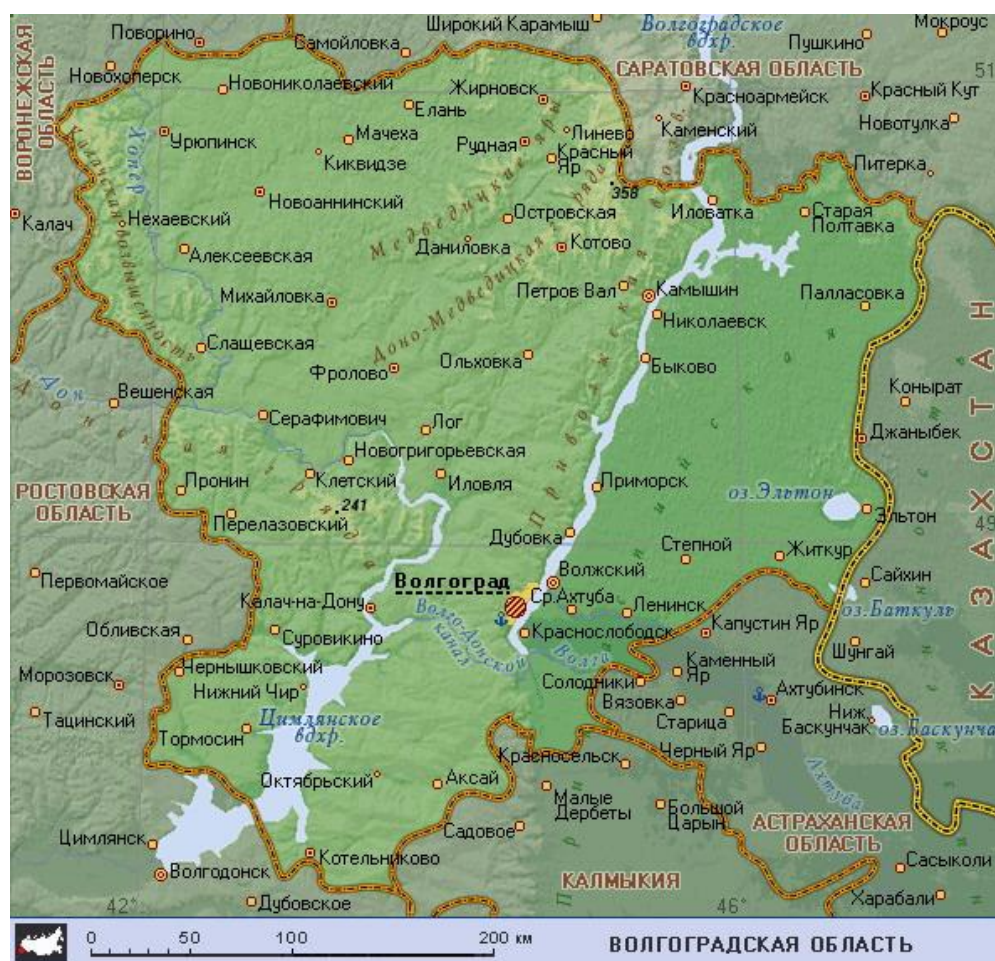


Рис. 1.1. Физико-географическая карта Волгоградской области[19, с. 105]

1.1 Геология и рельеф

Несколько миллиардов лет назад на исследуемой территории располагались горные хребты и отмечалась активная сейсмическая

деятельность. Затем она прекратилась и под влиянием внешних сил горные массивы разрушались, поверхность выравнивалась, образуя жесткий фундамент платформы. В течение палеозоя, мезозоя и кайнозоя территория то опускалась, то поднималась, на ее месте образовывались и исчезали моря. Так постепенно формировался осадочный чехол платформы, толщиной от 400 м до 10 км и более.

Со временем менялись географическое положение и климат. В течение каменноугольного периода, когда область располагалась в районе экватора, климат был жарким и влажным. Пышная растительность, отмирая и разлагаясь, медленно превращалась в угольные пласты. В конце палеозоя изменение климата с влажного на засушливый способствовало накоплению пластов каменной соли и гипса. Обширные площади на западе области заняты осадочными породами (песок, песчаник, мел), образовавшимися в районе мезозойских морей. Во время мелового периода сформировались и пласты ожелезненных песчаников. Позднее, в начале кайнозойской эры, климат стал холоднее; на территорию области произошло вторжение северных морей. В неогеновый и четвертичный периоды похолодание продолжалось. Одновременно наблюдалось отступление на юг морей и усиление континентальности климата. Около 2 млн лет назад территория «пережила» четыре ледниковые эпохи, в течение которых сформировался своеобразный ледниковый рельеф. Ледниковые осадки в виде морен заполнили долины рек, а водоразделы покрылись многочисленными крупными валунами.

Геологические процессы оставили свой отпечаток на рельефе области. Поскольку она расположена на Русской платформе, он целиком равнинный. Но это не означает, что его характер совершенно однородный. Территория включает в себя возвышенности, низменности, долины рек, озерные котловины. Известно, что в результате динамики земной коры часть области (Заволжье) медленно опускается, а часть (правый берег Волги) поднимается. Соответственно этому процессу здесь образовались самые крупные формы рельефа: на севере - Приволжская возвышенность, на юге - Прикаспийская

низменность. По этой причине территория имеет наклон на юг и юго-восток.

Все равнины области можно подразделить по высотам. Большая часть их имеет высоты от 160 до 200 м, лишь на севере они выше - от 300 до 350 м. Самые низкие участки расположены на Прикаспийской низменности, которые находятся ниже уровня моря в зоне полупустынного климата с минимальным количеством осадков. Низменность почти лишена рек. По ней протекает лишь большая река – Волга. Правобережная часть – это Сарпинская низменность, представляющая собой плоскую равнину, на западе которой тянется длинная ложбина, заполненная цепью Сарпинских озер. К востоку от озер низменность более однородная по рельефу. Поверхность равнины волнистая с чередующимися плоскими и сухими низинами и лагунами.

Характерной особенностью рельефа Прикаспийской низменности являются многочисленные впадины, разнообразные по форме и величине. Долина реки Волги расположена между Прикаспийской возвышенностью и Прикаспийской низменностью. Она вытянута с северо-запада на юго-восток, где ширина ее местами достигает 40-45 км.

Волгоградская область находится в бассейнах двух больших рек Волги и Дона. Они и сформировали особенности подстилающей поверхности, образуя различные формы рельефа. Особенно бросаются в глаза его различия по направлению к западу и к востоку от Волги. Западная часть возвышенная, а восточная – равнинно - низменная. Местность между притоками Дона занята Холмисто-Бозулинской низменностью, а по правому берегу расположена Католическая возвышенность. В правобережье Дона находится Восточно-Донская гряда, которая относится к юго-восточным отрогам Средней - Русской возвышенности [19, с. 155].

Исследуемая территория изобилует овражно-балочными формами рельефа. Особенно много их на восточном склоне Приволжской возвышенности. Рост оврагов связан с преобладанием легко размываемых пород, большим количеством осадков, быстрым весенним снеготаянием.

Приволжская возвышенность незаметно переходит в Иерейскую

возвышенность, которая сложена песками, глиной и песчаниками. Она имеет высоты 100-200 м, довольно круто опускаясь на востоке. На востоке Иерейская возвышенность граничит с Сарпинской низменностью. На западе ее склон очень длинный, пологий и расчленен притоками Дона на широкие и плоские водоразделы [19, с. 157].

1.2 Растительный покров и почвы

Волгоградская область занимает три природно-растительные зоны, имеющие различный видовой состав и структуру растительного покрова:

1. Степная зона. Она занимает северо-западную часть территории и правобережье реки Волги. Почвами ее являются черноземы различного механического состава. Зона занимает 2% от общей территории области;

2. Сухостепная зона. Она отличается сложным видовым составом почв: от каштановых до светло-каштановых с различной степенью солонцов и солончаков. Здесь в долинах больших и малых рек, в пониженных формах рельефа, балках, оврагах много интразональных почв. Встречаются и песчаные массивы с подвижными песками;

3. Полупустынная зона. Находится в левобережной части Волгоградской области и в южной части правобережья Волги. На ней распространены светло-каштановые солонцеватые и бурые полупустынные почвы.

Наиболее ценная земля для сельского хозяйства находится в степной черноземной зоне. Здесь встречается и лесная растительность, которая занимает до 12% ее площади. Более 50% этой территории распаханно или отведено для целей растениеводства и животноводства.

В Сухой степи почвы малоплодородные. Здесь основными типами травяной растительности являются бело-полынно-ковыльные и типчаковые. Встречается и разнотравье, похожее по своему составу на растительность степей. Разнообразная растительность распространена в Волго-Ахтубинской пойме, а также в поймах рек Дона и Копра. В них сохранились естественные

леса, имеющие большую ценность. Среди них выделяются дубравы с примесью других деревьев и кустарников. Большое значение для развития животноводства в сухой степной зоне имеют пастбищные угодья, которые в последние годы с резким сокращением поголовья обогатились своим составом и урожайностью растений.

Полупустынные зоны, которые занимают огромные площади, в связи с засушливыми климатическими условиями являются наименее биологически малопродуктивными. Состав естественной травянистой растительности в них представлен бело – черно – полынными видами. В связи с наличием обширных засоленных территорий он изнежен и включает в себя такие многолетние растения, как полукустарники и кустарники [19, с. 161].

Древесные насаждения, как естественные, так и искусственные, во всех растительных зонах являются наиболее ценными. В целом по области средняя лесистость территории составляет 4,2%. Но она различна в разных природных зонах: от 1,5% в полупустыне до 12% в черноземной степи. Причем, в степной зоне наблюдается и наиболее разнообразный видовой состав леса, где произрастает до 30 видов деревьев и кустарников. Основные из них это тополь дрожащий, липа мелколистная, дуб черешчатый, а также клен остролистный и татарский. Степная зона отличается и наиболее плотной посадкой различных искусственных насаждений: полезащитные, рекреационные, озеленительные, городские, вдоль дорог. Немало искусственных древесных насаждений и в сухой степи, которые приурочены здесь к поймам рек и низин. Они тоже выполняют разные цели: государственные лесные полосы, мелиоративные насаждения, рекреационные.

Естественные деревья в полупустынях встречаются редко. Лишь на небольших участках Волго-Ахтубинской поймы произрастают тополь черный и кустарниковые ивы. На ровной поверхности растут кустарники из прутняка, бересклета и тамарикса. Весьма редки здесь и искусственные насаждения, которые можно увидеть только на пастбищах (вяз мелколистный и лох узколистный). Кроме этого на пастбищах выращивают мелиоративно-кормовые

растения (полынь, бересклет). Для закрепления песчаных территорий, которые возникли в результате опустынивания, осуществляется посев семян песчаного овса с последующей посадкой засухоустойчивых кустарников.

1.3 Климат

Климатические условия на любой территории формируются за счет трех основных атмосферных процессов: теплооборота, влагооборота и атмосферной циркуляции [32, с. 201].

Особенности их реализации, в свою очередь, зависят от целого ряда географических факторов, зависящих от местных условий. Одним из таких важных факторов для исследуемой территории является расположение ее в относительно южных широтах, обеспечивающее интенсивный приток энергии Солнца.

Особенно заметное влияние он оказывает на теплооборот посредством радиационного излучения, величина которого определяется высотой Солнца над горизонтом, облачностью, альбедо подстилающей поверхности и другими факторами.

По интенсивности солнечного излучения область не уступает даже южному берегу Крыма. Величина годового радиационного баланса в Волгоградской области составляет от 45-50 ккал/см² на севере и до 55 ккал/см² на юге. Причем, в течение семи месяцев он положительный и только с ноября по март – отрицательный.

Продолжительность солнечного сияния за год превышает 2000 часов, а в некоторых районах достигает 2400 часов и более.

Исследуемая территория находится вдали от Атлантики, поэтому отличается континентальным климатом, величина которого повышается по направлению с северо-запада на юго-восток.

Среднегодовая температура воздуха повсеместно положительная: от 5-6°C на севере до 7-8°C на юге (рис. 1.2, табл. 1.1) [28, с.146]. Средние

январские температуры не опускаются ниже -12°C , а в южных широтах средняя температура центрального зимнего месяца еще меньше ($-7-9^{\circ}\text{C}$). Максимумы в годовом ходе температуры приходятся на июль, достигая $21-22^{\circ}\text{C}$ в более северных районах и $23-24^{\circ}\text{C}$ – в южных.

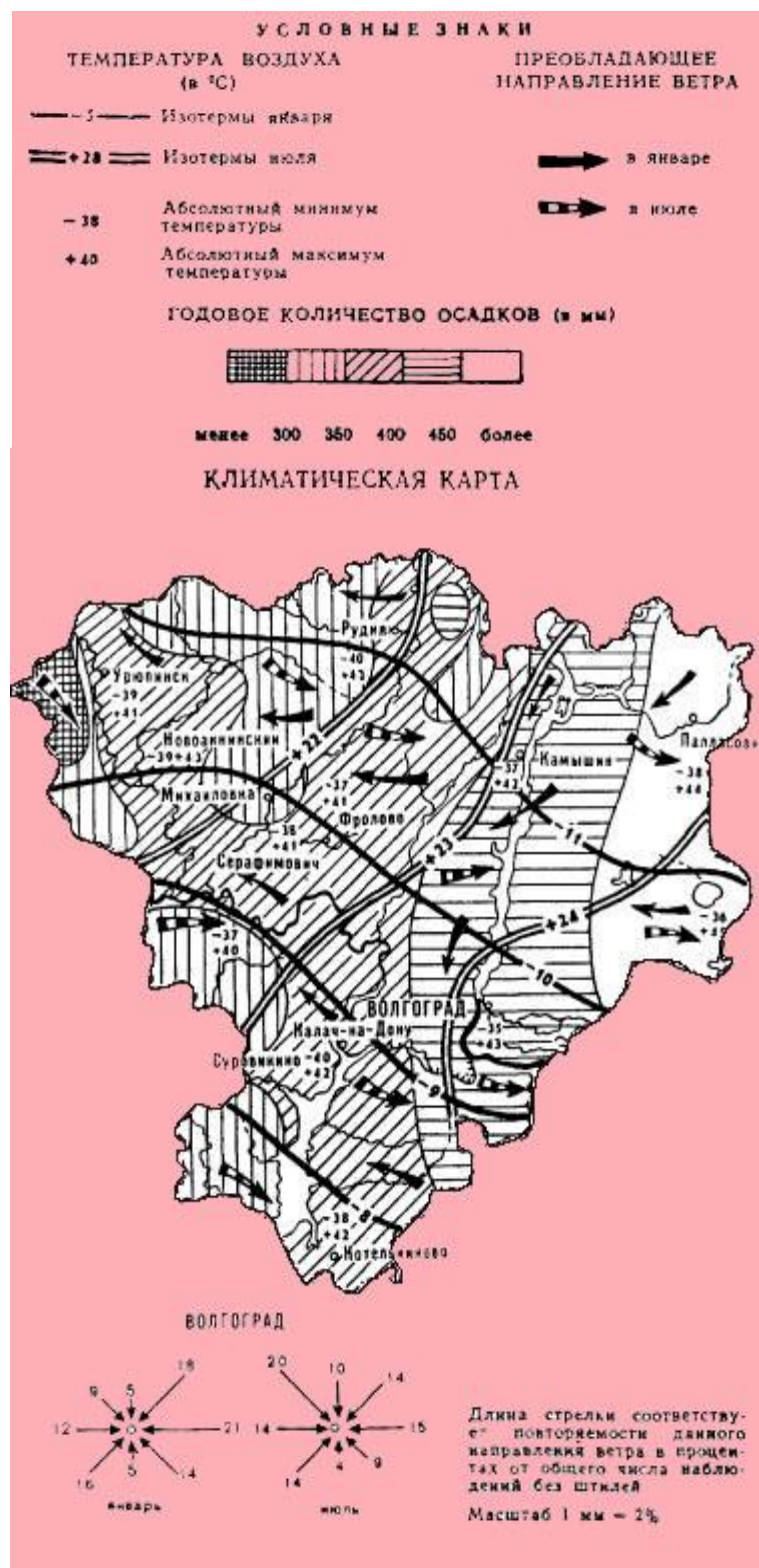


Рис. 1.2. Климатическая карта [22, с. 66]

Таблица 1.1

Средняя температура воздуха, °С [28, с. 146]

№	Станция	Январь	Апрель	Июль	Октябрь	Год
1	Хоперский	- 11,1	5,4	21,2	5,3	5,1
6	Новоаннинский	- 10,2	6,7	21,8	6,6	6,0
9	Даниловка	- 10,7	6,3	22,2	5,9	5,8
11	Динамо	- 10,0	6,1	20,8	6,2	5,6
12	Михайловка	- 9,8	7,0	22,2	5,9	5,8
14	Палласовка	- 11,8	7,3	23,6	6,4	6,1
18	Фролово	- 10,0	7,2	22,6	6,4	6,3
19	Быково	- 10,7	7,4	23,7	6,9	6,6
22	Серафимович	- 9,0	7,7	22,6	7,2	6,9
23	Горный Балыклей	- 10,1	7,5	23,9	7,2	7,0
24	Клетская	- 8,7	7,8	23,1	7,2	7,2
25	Иловля	- 9,5	7,9	23,0	6,9	6,9
29	Дубовка	- 9,6	7,8	24,0	7,8	7,3
35	Калач-на-Дону	- 8,6	8,5	23,4	7,9	7,6
42	Гнилоаксаяская	- 8,9	7,8	23,3	7,6	7,2
44	Котельниково	- 7,2	8,8	24,0	8,4	8,3

Переход от отрицательных среднемесячных температур к положительным наступает в апреле, а от положительных к отрицательным – в ноябре. Годовая амплитуда среднемесячных температур практически не зависит от широты и долготы. Наибольшие ее значения (более 35°C, в основном, за счет повышенных июльских максимумов) наблюдаются на возвышенных местах (Палласовка), а наименьшие (ниже 31-32°C) - в пониженных формах рельефа (Серафимович).

Осадки на территории области определяются процессами влагооборота, на которые, в свою очередь, как и на процессы теплооборота, существенное влияние оказывает степень континентальности климата. Поэтому осадков выпадает недостаточно, велика испаряемость и как результат этого – формирование засух и засушливого климата.

Табл. 1.2 наглядно подтверждает вышесказанное. В Заволжье в течение года выпадает всего 270 - 350 мм осадков, но даже на северо-западе их годовая сумма не превышает 500 мм. Максимум осадков в годовом ходе приходится на

летние месяцы. Причем, в теплый период года (апрель – октябрь) их сумма достигает около 2/3 годовой. Однако значительная испаряемость в эти месяцы, превышающая суммы осадков, сводит на нет их пользу для сельского хозяйства. Поэтому недостаток влаги в Заволжье и в южных районах обычно приходится восполнять искусственным орошением.

На распределение осадков оказывает влияние не только континентальность климата, но и рельеф местности. Установлено, что на возвышенностях их выпадает больше, чем в пониженных местах. Сильная изменчивость осадков наблюдается как по территории, так и в годовом и межгодовом ходе. Многолетние наблюдения, например, в Волгограде свидетельствуют, что 1915 год отличался повышенным их количеством (715 мм). Однако в засушливом 1949 году в этом городе осадков выпало всего 124 мм, то есть почти в семь раз меньше.

Таблица 1.2

Среднее количество осадков, мм [26, с. 128]

№	Станция	Январь	Апрель	Июль	Октябрь	Год
1	Хоперский	25	29	43	39	413
6	Новоаннинский	26	30	43	40	425
9	Даниловка	30	28	46	37	427
11	Динамо	24	28	49	32	410
12	Михайловка	30	30	48	34	431
14	Палласовка	17	17	35	28	281
18	Фролово	26	26	44	33	394
19	Быково	25	19	36	28	314
22	Серафимович	24	30	48	30	402
23	Горный Балыклей	24	18	31	24	306
24	Клетская	27	27	44	31	393
25	Иловля	28	26	40	31	385
29	Дубовка	26	21	32	27	329
35	Калач-на-Дону	31	24	40	32	395
42	Гнилоаксаяская	30	23	38	30	378
44	Котельниково	28	32	43	32	399

Циркуляция атмосферы является основным климатообразующим процессом. Она вызывает движение теплых, холодных, влажных и сухих

воздушных масс, осуществляя перенос теплого и холодного воздуха по территории. Кроме того, осуществляя циркуляцию атмосферной влаги, от нее зависит режим осадков и формирования влажного или сухого климата.

Основными параметром циркуляции воздуха является направление и скорость ветрового потока. В табл. 1.3 приводятся климатические данные, характеризующие направление ветра. Их анализ позволяет сделать вывод о том, что преобладающими потоками воздуха зимой и в целом за год являются юго-восточные и восточные ветры, связанные с отрогом азиатского антициклона.

Таблица 1.3

Вероятность направления ветра, % год [25, с. 118]

№ МС	Станция,(МС)	Ме- сяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Безветрие
1	Хоперский	I VII Год	9 13 9	7 14 10	12 12 14	16 8 15	16 8 12	16 10 14	14 17 14	10 18 12	1 4 3
6	Новоаннинский	I VII Год	10 21 13	11 16 13	8 7 9	17 7 16	16 7 13	17 11 12	11 15 12	10 16 12	9 12 11
9	Даниловка	I VII Год	8 14 10	10 14 12	18 12 16	14 6 13	12 4 9	16 13 14	12 17 13	10 20 13	16 20 18
11	Динамо	I VII Год	8 15 9	9 15 10	13 11 13	16 8 14	10 6 10	18 13 17	17 15 16	9 17 11	8 14 10
12	Михайловка	I VII Год	10 18 12	10 17 13	13 10 13	17 5 14	15 8 12	14 9 12	12 15 12	9 18 12	14 20 17
14	Палласовка	I VII Год	10 16 12	15 14 13	15 14 16	12 4 10	12 6 10	14 8 12	14 18 15	8 20 12	1 2 1
18	Фролово	I VII Год	6 17 11	7 12 9	21 15 20	22 9 18	9 6 8	12 8 10	11 15 12	12 18 12	10 14 12
19	Быково	I VII Год	10 16 11	21 14 18	8 9 10	10 5 10	12 6 10	17 13 15	13 17 14	9 20 12	5 10 7
22	Серафимович	I VII Год	5 10 7	5 10 7	13 11 13	22 10 19	9 7 9	16 12 14	20 23 19	10 17 12	6 5 6
23	Горный Балыклей	I VII Год	8 11 8	20 18 19	11 9 14	10 10 13	7 5 6	10 9 9	18 14 14	16 24 17	9 8 9

Продолжение таблицы 1.3

24	Клетская	I	7	4	13	11	16	21	17	11	17
		VII	19	9	10	5	10	14	15	18	20
		Год	10	6	15	11	14	17	15	12	19
25	Иловля	I	4	12	15	15	14	9	18	13	10
		VII	13	12	8	8	6	9	20	24	16
		Год	8	11	14	14	11	10	17	15	15
29	Дубовка	I	13	24	9	6	10	12	13	13	12
		VII	20	20	6	3	4	10	12	25	11
		Год	15	21	10	7	7	11	12	17	13
35	Калач-на-Дону	I	8	9	17	18	10	9	13	16	14
		VII	14	9	11	10	6	10	15	25	18
		Год	9	9	15	17	9	10	13	18	17
42	Гнилоаксайская	I	5	12	24	14	7	14	17	7	4
		VII	12	12	14	8	4	12	20	18	6
		Год	8	12	23	13	6	12	16	10	5
44	Котельниково	I	3	8	25	18	6	15	16	9	2
		VII	9	10	12	10	3	11	22	23	6
		Год	6	9	24	16	5	11	15	14	4

Летом чаще всего наблюдаются северо-западные и западные ветры, которые нередко формируются в результате продвижения Средиземноморских и Атлантических циклонов.

Таким образом, расположение Волгоградской области на юго-востоке Русской равнины, вдали от океанов и морей, открытой для переноса холодных масс воздуха из районов Сибири зимой и очень теплых масс из Средней Азии летом, формирует соответствующие климатические особенности региона. Они отличаются значительной континентальностью, холодной, малоснежной зимой, продолжительным, жарким и сухим летом.

Глава 2 Особенности образования туманов

2.1 Метеорологические процессы, формирующие туманы

Туманом принято называть скопление в приземном слое атмосферы продуктов конденсации водяного пара, уменьшающее дальность видимости до 1 км и менее. Поэтому основными процессами, с которыми связано его образование, являются испарение влаги и конденсация водяного пара.

Водяной пар поступает в атмосферу, в основном, за счет испарения воды мирового океана и суши. Физическая сущность этого процесса состоит в том, что с поверхности воды постоянно отрываются энэргоактивные молекулы, кинетическая энергия которых способна преодолевать силы молекулярного притяжения [29, с. 257]. Часть этих молекул в результате диффузии остаются в воздухе, а другая часть возвращается обратно в жидкость. При этом знак разности между количеством невозвращенных в воду и возвратившихся в нее молекул является показателем сущности происходящего процесса. Если эта разность положительная, то есть возвратилось меньше молекул, чем оторвалось, то можно утверждать, что происходит процесс испарения. Причем, чем больше величина разности, тем интенсивнее испарение. В противном случае, когда имеет место обратное соотношение количества оторвавшихся от воды молекул, наблюдается процесс конденсации водяного пара. Третий возможный вариант, соответствующий равенству молекул, свидетельствует о том, что в непосредственной близости от поверхности воды наблюдается состояние кратковременного динамического равновесия между испарением и конденсацией (насыщение водяного пара). Парциальное давление пара, соответствующее такому состоянию воздуха, называется давлением насыщенного водяного пара. В зависимости от внешних условий оно может мгновенно измениться и вызвать испарение (когда оно понизилось) или конденсацию пара (когда оно не меняется или увеличивается). Следовательно, чем «дальше» от состояния насыщения находится водяной пар в воздухе, тем условия для испарения более благоприятны. Величина давления насыщенного

пара зависит от температуры воздуха. Чем она выше, тем больше влаги может содержать воздух. И, наоборот, в холодном воздухе водяного пара всегда меньше.

Когда водяной пар становится насыщенным, испарение воды прекращается. Это происходит в тех случаях, когда температура воздуха быстро снижается до, так называемой, «точки росы», при которой влагосодержание воздуха максимально, а относительная влажность достигает 100% (или выше). Возможен и другой вариант максимального насыщения воздуха водяным паром, согласно которого меняется не температура воздуха, а количество в нем пара. И в том, и в другом случае может начаться обратный испарению процесс, конденсация водяного пара, когда вода из газообразной переходит в жидкую фазу. В этом случае в воздухе во взвешенном состоянии появляются микро капельки влаги или мельчайшие кристаллики льда, которые становятся видимыми как туман или облачность. При таком переходе воды от пара к водяной или твердой фазе в атмосферу выделяется значительное количество тепла, которое было затрачено на обратный процесс превращения воды в пар (испарение).

Количество испарившейся или сконденсированной воды (скорость испарения или конденсации) согласно закону Дальтона зависит от целого ряда факторов:

$$W = A/P(E_{\text{п}} - e), \quad (1)$$

где W – скорость испарения (конденсации) в мм слоя воды за единицу времени;

A – коэффициент диффузии;

P – атмосферное давление;

$E_{\text{п}}$ – упругость насыщенного пара у поверхности (при температуре испаряющей поверхности);

e – фактическая упругость пара в воздухе.

Таким образом, скорость испарения и конденсации зависит от коэффициента диффузии, который, в свою очередь, зависит от скорости ветра (чем сильнее ветер, тем больше A и W). Увеличивается испарение и при понижении атмосферного давления. Но наиболее существенная связь скорости испарения с дефицитом влажности $E_{\text{п}} - e$. При его увеличении увеличивается и испарение. Оно происходит более интенсивно и, когда увеличивается разность температуры поверхности и воздуха (когда велико значение $E_{\text{п}}$ по сравнению с « e »).

Состояние водяного пара и атмосферного воздуха непрерывно меняется. Главная причина этих изменений связана с изменением температуры в атмосфере, которая зависит от особенностей теплового баланса [17, с. 182]:

$$R = A + B + E, \quad (2)$$

где R – радиационный баланс подстилающей поверхности, то есть разность между поглощенной (поверхностью) суммарной солнечной радиации и потерей длинноволновой радиации в виде эффективного излучения;

A и B – теплообмен между поверхностью и атмосферой (A) и нижележащими слоями земли (водоема);

E – теплообмен атмосферы с окружающей средой за счет процессов испарения и конденсации.

Отсюда следует, что изменение температуры воздуха, а, следовательно, и состояния пара в нем, в основном, определяются вышеназванными тремя метеорологическими процессами. Поскольку нас интересует физика образования тумана, то рассмотрим только причины понижения температуры воздуха в приземном слое атмосферы до точки росы, вызывающие насыщение и пересыщение в нем водяного пара. Таких причин существует несколько, основными из которых являются:

- радиационное выхолаживание подстилающей поверхности и воздушной массы;

- охлаждение теплой воздушной массы при ее горизонтальном перемещении (адвекции) на холодную поверхность;
- охлаждение воздушной массы за счет адиабатических процессов при тепловой и динамической конвекции;
- конвективное перемешивание воздуха при расположении холодной воздушной массы над теплой водной поверхностью. Кроме перечисленных процессов, иногда на понижение температуры воздуха могут оказать влияние и другие факторы:
- увлажнение и охлаждение воздуха благодаря испарению выпадающих осадков в атмосфере и с подстилающей поверхности;
- конденсация (сублимация) пара на подстилающей поверхности;
- вид и состояние почвы;
- особенности рельефа местности;
- понижение давления в движущейся воздушной массе и некоторые другие.

В зависимости от причин конденсации или сублимации (переход пара в лед) водяного пара в воздухе у земли и образования туманов они подразделяются на несколько видов.

Туманы охлаждения. Они возникают в результате быстрого охлаждения воздуха до температуры точки росы. Это наиболее распространенные и интенсивные виды туманов, образующихся как у земли, так и в верхних слоях атмосферы. В зависимости от причин охлаждения воздуха различают радиационные, адвективные и радиационно-адвективные туманы [32, с. 189].

Радиационные туманы могут быть «поземными» и «высокими». Поземные наблюдаются в ясные и безветренные ночи преимущественно в долинах рек и вогнутых формах рельефа. В таких местных условиях радиационное выхолаживание особенно интенсивно и распространяется по вертикали всего на несколько метров. Образуются поземные (радиационные) туманы в слое инверсии температуры, как правило, рано утром при ослабленном турбулентно обмене и переходе радиационного баланса от

отрицательных значений к положительным. Рассеиваются они быстро, после восхода Солнца, когда нарушаются инверсионное распределение температуры.

Высокие радиационные туманы захватывают значительно больший вертикальный слой атмосферы (несколько сотен метров) в результате стационарирования зимнего антициклона (например, в Якутии). В таких случаях под инверсией оседания над землей сначала возникают слоистые облака, которые затем опускаются до поверхности и называются уже высокими туманами.

Еще одним видом туманов охлаждения являются туманы «испарения», которые, как и высокие туманы, наиболее часто возникают поздней осенью и зимой, но не над землей, а над открытой поверхностью воды. Стекающий на нее холодный воздух с соседних участков земли быстро охлаждает теплый воздух, в котором содержится большое количество испаряющейся влаги. Нередко они наблюдаются над незамерзающими участками морей (морские туманы), рек и озер.

В больших городах с развитой промышленностью, где вопросам экологии не уделяется должного внимания, атмосфера содержит повышенное количество пыли, загрязняющих веществ и других ядер конденсации, которые стимулируют процессы конденсации водяного пара и образования специфических туманов. Такие городские туманы (смоги) могут быть токсическими и неблагоприятно воздействовать на здоровье человека и на окружающую природную среду.

Очень часто на наветренных склонах гор и высоких возвышенностей адиабатически поднимающийся и расширяющийся воздух настолько охлаждается, что становится насыщенным, образуя орографический туман. Такие туманы могут возникать лишь при устойчивой стратификации насыщенного воздуха [8, с. 49].

Нередко туманы охлаждения образуются за счет и радиационного, и адвективного факторов, которые относят к радиационно-адвективным.

Радиационные туманы и туманы испарения относятся к внутримассовым

явлениям. Они чаще всего формируются в безоблачную погоду. Адвективные туманы охлаждения напротив чаще наблюдаются в пасмурную погоду, когда на холодную поверхность суши приходит теплая воздушная масса воздуха. Образуется слой инверсии температуры, иногда достигающий высоты 1,5-2 км, в котором охлаждается воздух и происходит конденсация водяного пара. Такие адвективные туманы часто образуются зимой у берегов незамерзающих морей при движении теплого воздуха с их акваторий на охлажденную сушу («береговые» туманы).

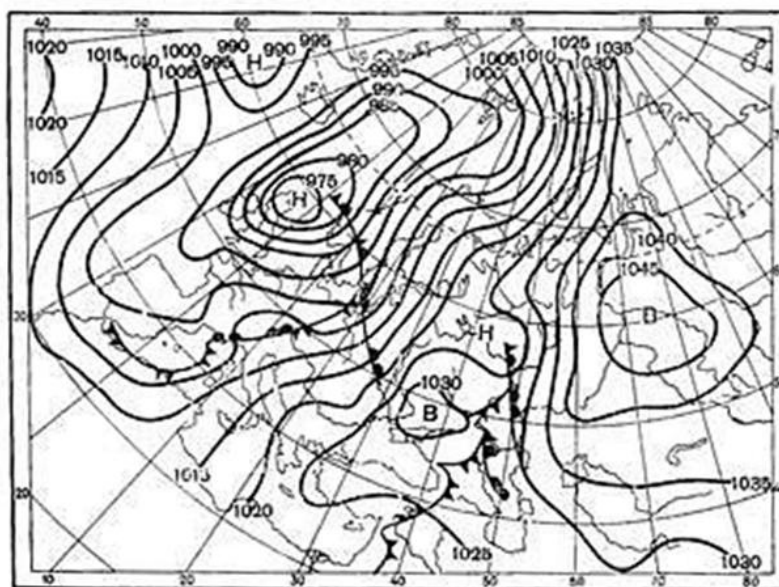
В теплое время года при положительной температуре воздуха туманы по агрегатному состоянию обычно капельножидкие («водяной туман»). Однако они могут наблюдаться и при более низкой температуре (до -20°C), когда капли состоят из переохлажденной воды. При более низких температурах нередко отмечаются смешанные туманы, состоящие из капель и кристаллов. Тем не менее, смешанные туманы весьма неустойчивы и при появлении ледяной фазы превращаются в кристаллические. Чисто ледяные туманы бывают лишь при температуре воздуха ниже -40°C .

Радиус капель тумана варьирует в довольно широких пределах: от 0,001 до 0,06 мм. Причем, установлена зависимость преобладающей величины капелек тумана от температуры воздуха: чем выше температура, тем обычно крупнее капельки. Число капелек тумана в единице объема также сильно колеблется. Обычно в 1 см^3 при слабом тумане содержится 50 - 100 капелек, а при сильном тумане - 500—600 капелек и больше [30, с. 116]. Средняя водность тумана составляет $0,2\text{ г/м}^3$. Меньшие ее значения $0,02\text{-}0,3\text{ г/м}^3$ имеют туманы испарения, а большие $0,3\text{-}0,9\text{ г/м}^3$ – радиационные и адвективные туманы. Установлено, что у капельножидких туманов водность больше, чем у кристаллических.

2.2 Синоптические условия образования туманов

Каждый туман образуется при определенной погоде и при той или иной

синоптической ситуации. Кроме того, туманы, как и все естественные объекты окружающей среды, имеют индивидуальные особенности, связанные с влиянием на них местных условий и целого ряда других географических факторов. При этом следует иметь в виду, что основные отличия образования туманов связаны с крупномасштабными атмосферными процессами, которых значительно меньше, чем локальных. Поэтому целесообразно выделить типовые синоптические процессы, формирующие разные виды туманов. Это существенно облегчит их прогнозирование.



поступающая из Атлантики и выпавшие осадки благоприятны для образования радиационных туманов. Они обычно непродолжительные и очень редко отмечаются одновременно на 4-5 станциях, занимая в основном северные и восточные районы области, так как эти районы наиболее часто находятся под влиянием гребней [24, с. 15];

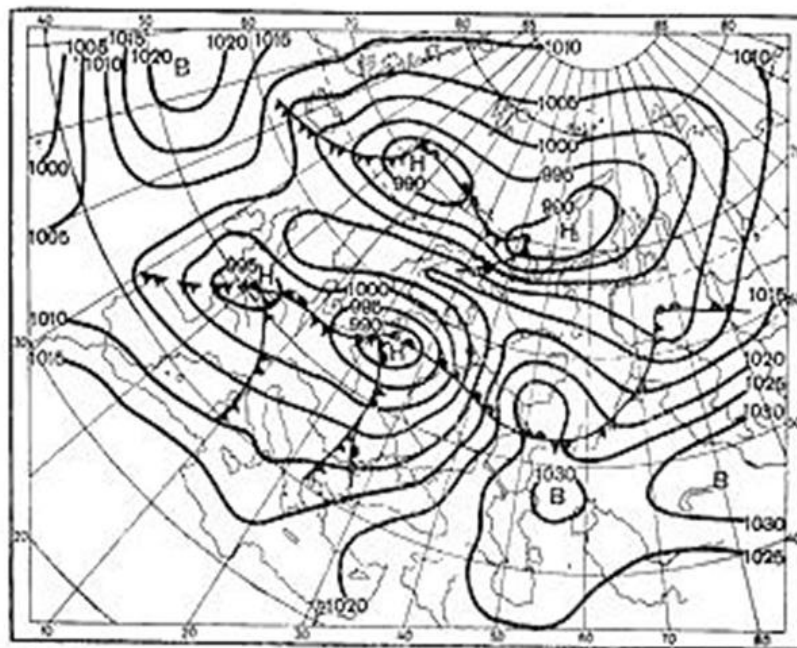


Рис. 2.2. Синоптический процесс образования адвективного тумана в Волгоградской области 13 февраля 1960 г. [14]

2. Над Западной Сибирью и Казахстаном находится обширный антициклон, являющийся высоким барическим образованием (рис.2.2). Отрог его направлен на северо-западные и юго-восточные районы Европейской части России. На севере Западной Европы и в Прибалтике расположены два циклона. Один из них, центр которого располагается над Прибалтикой, имеет ложбину, распространяющуюся на Белоруссию, Украину, Ростовскую область и Черное море. У второго циклона на севере Франции ложбина выходит на Средиземное море. Оба они являются высотными образованиями с хорошо выраженными системами атмосферных фронтов. Под влиянием этих барических образований осуществляется вынос теплых масс воздуха с запада на холодную поверхность исследуемой территории и образование адвективных туманов. Адвективные

туманы могут возникать не только при адвекции теплого и влажного воздуха с запада и востока, но и при прохождении фронтов;

3. Фронтальные туманы территориально связаны с фронтальной зоной и прохождением теплых или холодных атмосферных фронтов. Они длятся сравнительно недолго и могут наблюдаться в любое время суток.

2.3 О прогнозировании туманов

Основные рекомендации при составлении прогнозов тумана заключаются в следующем.

Прогноз адвективных туманов. Адвективный туман можно ожидать в ближайшие часы или сутки, если согласно синоптической ситуации создаются условия для адвекции тёплого и влажного воздуха на более холодную подстилающую поверхность [13, с. 37]. При этом, температура и точка росы приходящего воздуха в начале его траектории на последующее 10-12 часов должны быть выше их значений в данном районе или пункте на $0,5^{\circ}$, чаще на $1,3^{\circ}$, реже на $4...6^{\circ}$. Дефицит точки росы в тёплом воздухе на начало траектории не должен превышать 2° при положительных температурах и 3° при отрицательной температуре. Указанные величины дефицита точки росы в начале траектории характерны для случаев образования тумана при скорости ветра у поверхности Земли не более 7-10 м/с.

Перед прогнозом адвективного тумана над сушей зимой необходимо определить, где проходит граница снежного покрова [15, с. 32].

При прогнозе перемещения зоны адвективного тумана следует принимать во внимание её расширение ночью в связи с радиационным охлаждением приземного слоя воздуха. Это охлаждение вызывает уменьшение вертикального градиента температуры под слоем инверсии [23, с. 105]

Если исходной для прогноза является дневная карта погоды, то на первую половину ночи необходимо вводить поправку на уменьшение скорости ветра в ночное время суток. И наоборот, когда исходной является ночная карта

погоды, то для прогноза адвективного тумана на утро и на первую половину дня необходимо вводить поправку на дневное усиление скорости ветра. Но благодаря современной системе ГИС Метео [1, с. 54] вручную эти поправки вводить не надо, система вводит их сама.

Рассеивание адвективного тумана следует ожидать, когда наблюдается:

1. Прекращение адвекции тёплого, влажного воздуха вследствие изменения направления ветра;
2. Усиление турбулентного обмена с увеличением скорости ветра;
3. Уменьшение абсолютной влажности (точки росы) нижнего слоя воздуха благодаря конденсации (сублимации) водяного пара на поверхности охлажденной почвы или снега;
4. Переход тумана в морось или выпадение осадков из вышележащих облаков и связанное с ними осаждение тумана, главным образом, благодаря коагуляции капель;
5. Прекращение адвективного охлаждения воздушной массы по достижении определенной температуры;
6. Радиационное нагревание слоя тумана и происходящее при этом испарение капель;
7. Радиационное охлаждение верхней части тумана, вызывающей увеличение вертикального градиента температуры под приподнятой инверсией и связанное с ними усиление турбулентного обмена.

Изменение направления и скорости ветра является причиной рассеивания большинства адвективных туманов.

Прогноз фронтальных туманов. Перед медленно перемещающимся теплым фронтом, а так же за малоподвижными холодными фронтами туман следует ожидать поздней осенью и зимой. Фронтальная поверхность в таком случае обнаруживается по данным вертикального зондирования в виде инверсии температуры, которая нередко сливается с приземной инверсией в пленке выхолаженного воздуха. При этом в слое инверсии температуры значения точки росы также растут с высотой. В образовании тумана основную

роль играет испарение капель дождя или мороси с высотой. Испарение будет тем сильнее, чем выше температура на верхней границе фронтальной инверсии по сравнению с температурой в зоне холодного воздуха у поверхности Земли (2 метра) [10, с. 25].

В случае наблюдения осадков при прогнозе фронтального тумана, необходимо иметь в виду следующее:

1. Если в километровом слое имеется инверсия температуры и её величина более 2° , то выпадение дождя, как правило, усилит туман;

2. При понижении температуры в том же слое более чем на $0,4-0,5^{\circ}$ на 100 м в большинстве случаев дождь рассеивает туман тем быстрее, чем выше нижняя граница облаков и быстрее падение температуры с высотой;

3. При изотермии слабый или умеренный дождь может лишь вызывать ослабление тумана из-за частичной коагуляции тумана с каплями дождя, а не полностью рассеивать его. Благодаря одинаковой температуре капель дождя и тумана испарения ни тех, ни других не происходит;

4. Если дождь переходит в снег, он ослабляет или рассеивает туман из-за перехода водяного пара с капель на ледяные кристаллы.

Если фронт малоподвижный с размывающейся облачной системой, туман может образовываться ночью и без выпадения жидких осадков [5, с. 76]. Возникновению тумана будет способствовать радиационное охлаждение нижнего слоя воздуха под рассеивающимися облаками, особенно, если сохранился нижний под инверсионный слой облачности. В этом случае туман будет формироваться как высокий радиационный под приподнятой инверсией и распространяться сверху вниз.

Прогноз тумана при сильных морозах. Довольно часто зимой над Волгоградской областью стационарирует или отрог Сибирского антициклона, или обширный антициклон над всей Европейской территорией России. В таких случаях сильные морозы, сохраняющиеся не один день, могут вызвать туманы. Они образуются благодаря поступлению в воздух водяного пара с продуктами сгорания. Этот вид тумана следует ожидать в населённых пунктах, где

создаются условия для застоя и сильного выхолаживания воздуха над снежным покровом [4, с. 61].

Температура воздуха в случае образования тумана при сильных морозах должна быть ниже некоторого критического значения, зависящего от относительной влажности и атмосферного давления. При температуре выше критического значения образующийся при сгорании топлива водяной пар искусственно понижает относительную влажность воздуха, и ледяной туман не образуется; и, напротив, при температуре ниже критической возникает перенасыщение по отношению ко льду и образуется ледяной туман. Следовательно, чем ниже начальная относительная влажность, тем будет ниже критическая температура образования ледяного тумана в случае сгорания газов или топлива. При температуре ниже -39° ледяной туман может образовываться в результате сгорания топлива при любой начальной относительной влажности воздуха, т.е. при любой начальной разности между температурой и точкой росы.

На территории Волгоградской области довольно много крупных городов. Выхлопные газы и водяной пар от предприятий в них выбрасываются круглосуточно, что благоприятно влияет на образование радиационного тумана, который может появляться уже при температуре -16° и ниже.

Прогноз туманов испарения. Большинство городов в Волгоградской области находится на берегах рек Волги и Дона. Туманы испарения в таких городах, а также вблизи берегов незамерзающих водохранилищ, не редкость. Их следует ожидать над водоемами и на их подветренных берегах в конце осени и зимой при медленном перемещении в нижнем слое холодного воздуха с суши. При этом необходимо, чтобы температура охлаждающейся воды стала близкой к 0° , а воздух и поверхность почвы на берегах имели температуру значительно ниже 0° [2, с. 17].

Графический метод Е. И. Гоголевой для города Волгоград. Основными условиями образования адвективных туманов являются определенные соотношения температуры воздуха (T_v) и точки росы (T_d) с соответствующими характеристиками почвы (T_p). В воздухе их значения должны быть выше, то

есть $T_v \geq T_p$ и $T_d \geq T_p$. Эти неравенства оцениваются в результате сравнения температуры воздуха (T'_v) и точки росы (T'_d) в районе, откуда осуществляется адвекция, с температурой воздуха (T_v).

Для определения $T'_v - T_v$ и $T'_d - T_v$ за 12 часов до возможного образования тумана, используя прогностические данные полей у поверхности земли и на высотах, определяется район, откуда произойдет адвекция. В ожидаемой зоне смещения определяются параметры температуры воздуха и точки росы и используется фактическая погода в Волгограде. По приземной карте (используется кольцевая карта погоды) находится величина ветра в смещающейся воздушной массе. За направление переноса принимается направление изобар в Волгограде, а за скорость потока - скорость градиентного ветра, наблюдаемые по данным зондирования на высоте 300 м (или на уровне 925 мб) [20, с. 107]. Затем, умножая скорость на 12 часов, получаем расстояние, откуда сместится воздушная масса. По результатам расчета и их анализа составлена табл. 2.1. Из нее следует, что в 91,1% всех случаев точка росы смещающейся атмосферной массы выше температуры воздуха в Волгограде или равна ей. Причем, наиболее благоприятными для образования адвективного тумана являются разности $T'_d - T_v$ в пределах от 0 до 4°, суммарная повторяемость которых составляет 81% случаев.

Таблица 2.1

**Повторяемость адвективного тумана в зависимости от разности
между точкой росы притекающего воздуха и температурой воздуха в
Волгограде¹**

Повторяемость	Разность $T'_d - T_v$, в °С												
	-6	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Число случаев	2	4	4	23	27	21	13	7	3	3	2	2	1
%	1,7	3,6	3,6	20,5	24	18,9	11,6	6	2,8	2,8	1,7	1,7	1

Отрицательные значения $T'_d - T_v$ обычно наблюдаются при перемещении воздушных масс с востока или юго-востока. Хотя на высотах около 1500 м

¹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

перенос воздуха имеет большую южную составляющую, вследствие чего эта разность положительная. В этих случаях образованию туманов способствуют турбулентный обмен и охлаждение воздуха над подстилающей поверхностью (особенно в осеннее - зимний период или ранней весной). Для упрощения составления прогноза тумана по методу Е. И. Гоголевой построен график зависимости образования адвективного тумана от температуры воздуха в районе Волгограда (T_v) и точки росы смещающегося воздуха (T'_d) для приземного слоя.

Для прогноза адвективных туманов информативным является и положительная разность между точкой росы смещающегося воздуха (T'_d) и точкой росы в районе Волгограда (T_d) (табл. 2.2). Как видно из табл. 2.2 наиболее благоприятными для образования туманов в Волгограде являются разности $T'_d - T_d$, величина которых варьирует от 0 до 6°C . Вероятность их 88,4%. Причем, в 17% случаев туманы образуются и при равенстве T'_d и T_d , когда для образования тумана достаточно небольшого радиационного охлаждения воздуха.

Таблица 2.2

Разности между T'_d и T_v за 12 часов до образования тумана в районе Волгограда²

Повторя- емость	Разность $T'_d - T_d$, в $^\circ\text{C}$					
	- 1	0	1 - 3	4 - 6	7 - 13	Всего
Число случаев	5	19	62	18	8	112
%	4,5	17,0	55,4	16,0	7,1	100

² Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Глава 3 Пространственно-временной режим туманов

3.1 Распределение по территории климатических характеристик туманов

В течение года в среднем на каждую метеостанцию Волгоградской области приходится 34 дня с туманом (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Среднее число дней с туманом [27, с. 224]

№	Станция	I	IV	VII	X	X-III	IV-IX	Год
1	Хоперский	5	3	0,5	3	32	6	38
6	Новоаннинский	4	2	0,3	2	23	4	27
9	Даниловка	5	2	0,5	2	26	5	31
11	Динамо	9	4	0,4	4	49	7	56
12	Михайловка	5	2	0,3	2	27	4	31
14	Палласовка	6	2	0,03	2	33	3	36
18	Фролово	5	2	0,2	2	28	4	32
19	Быково	6	2		2	31	3	34
22	Серафимович	4	2	0,3	2	27	4	31
23	Горный Балыклей	4	1		2	25	2	27
24	Клетская	3	1	0,4	2	19	3	22
25	Иловля	3	1	0,07	2	20	2	22
29	Дубовка	6	2	0,04	2	28	3	31
35	Калач-на-Дону	3	1		2	20	2	22
42	Гнилоаксаяская	11	2	0,2	4	56	4	60
44	Котельниково	6	2	0,1	3	29	4	33
Среднее по Области		5,3	1,9	0,2	2,4	30	3,8	34

Однако, несмотря на сравнительно однородную по рельефу подстилающую поверхность, существующие различия в особенностях местоположения пунктов вносят свои коррективы в изменчивость распределения туманов по территории [22, с. 68]. Так, например, на метеостанциях, расположенных на подветренных крутых берегах Волги или возвышенностях, отмечается повышенная повторяемость туманов (в Волгограде – 76 дней, Камышине – 65 дней, Гнилоаксаяской – 60 дней в году). В то же время, значительно меньше туманов наблюдается на станциях Елань (29 дней) и Серафимович (31 день), которые расположены на подветренных

склонах возвышенности, понижающейся в районе станции. Анализ результатов наблюдений позволил установить связь между высотой местности над уровнем моря и числом дней с туманами. Оказалось, что отношение повторяемости туманов на метеостанциях Волгоградской области, высота которых больше и меньше 100 м над уровнем моря составляет в среднем за год 1,64. То есть в районе «возвышенных» пунктов туманы образуются на 64% чаще, чем на «пониженных».

Такую особенность режима туманов нетрудно объяснить, учитывая термодинамические процессы в атмосфере. Влажная воздушная масса, перемещаясь от сравнительно низкой местности на более возвышенную, адиабатически быстро охлаждается до точки росы. Водяной пар в ней становится насыщенным, что и вызывает его конденсацию и образование тумана. Наоборот, если поток воздуха опускается вниз, то в таких случаях условия для его насыщения водяным паром становятся неблагоприятными.

Таблица 3.2

Скорости ветра при туманах [25, с. 221]

Станция	Скорость ветра, м/с			
	0 - 3	4 – 6	7 – 10	≥ 10
Елань	46	46	8	
Палласовка	71	25	4	
Серафимович	30	53	17	
Камышин	24	41	26	9
Урюпинск	54	33	13	
Волгоград	18	36	35	11

Поэтому адвективные туманы в низких местах образуются реже. Разумеется, что такие процессы в атмосфере оказывают влияние на туманообразование лишь при определенных погодных условиях (температуры и ветра).

Существенное влияние на туманы оказывает ветер, особенно восточного и юго-восточного направлений, которые над данной территории являются не только преобладающими, но и туманообразующими. В большинстве пунктов

туманы чаще всего наблюдаются при слабых ветрах, скорость которых не превышает 3 или 6 м/с (табл. 3.2). В них вероятность скоростей 3 и менее м/с может достигать 54 (Урюпинск) и даже 71 % (Палласовка), а повторяемость скоростей меньше 7 м/с составляет от 54 (Волгоград) до 96 (Палласовка) %. При ветрах других направлений (кроме восточных и юго-восточных) и при повышенных скоростях (10 и более м/с) туманы формируются значительно реже.

На исследуемой территории туманы наблюдаются не только при определенном режиме ветра, но и при наиболее благоприятной температуре воздуха (табл. 3.3) [12, с. 168].

Видно, что в целом за год и во все сезоны года от 50 до 76 % туманов наблюдаются при положительных температурах. Лишь в Камышине и в Палласовке, расположенных на левом берегу Волги, (а также в Волгограде и Елани зимой) при таких температурах образуется 29-40 % туманов.

Зимой туманы на всей территории с вероятностью от 4 до 13 % могут формироваться и при температурах от -13 до -18°C, а на севере правобережья Волги в Елани они наблюдались (5 %) и при более сильных морозах с температурой ниже -20°C. Более того, из табл. 3.3 следует, что на юге территории (Котельниково) при таких морозах наблюдалось даже 20 % осенних туманов.

Таблица 3.3

Повторяемость температура воздуха во время туманов, % [28, с. 118]

Станция	Сезон	Температура воздуха, °C						Σ
		5 - 10	0 - 4	-1 - 6	-7 - 12	-13 - 18	-19 - 24	
Елань	Зима	42		31	11	11	5	100
	Весна		50	25	25			100
	Осень	20	60	20				100
	Год	32	18	28	11	7	4	100
Котельниково	Зима	5	60	30		5		100
	Весна	34	66					100
	Осень	20	40	20			20	100
	Год	12	57	24		3	4	100

Продолжение таблицы 3.3

Палласовка	Зима		18	38	31	13		100
	Весна		66	34				100
	Осень		40	60				100
	Год		29	41	21	9		100
Урюпинск	Зима	40	32	12	12	4		100
	Весна	75	25					100
	Осень	12	64	12	12			100
	Год	38	38	11	10	3		100
Серафимович	Зима	4	48	35	9	4		100
	Весна	25	50	25				100
	Осень	40	40		20			100
	Год	13	47	27	10	3		100
Камышин	Зима	2	32	42	19	5		100
	Весна	16	52	16	16			100
	Осень	12	51	25	12			100
	Год	4	36	38	18	4		100
Волгоград	Зима	2	39	44	10	5		100
	Весна		100					100
	Осень	17	58	17	8			100
	Год	5	46	36	9	4		100

При образовании тумана необходимым условием является увеличение влажности воздуха. В 83% случаев оно начиналось за 3 часа перед его появлением. При этом зимой начальные значения относительной влажности обычно превышают 95%. Весной туманы иногда могут образоваться и при более низкой относительной влажности (91-95%), а осенью - даже при влажности 86-90%. При еще более низких начальных значениях влажности (81-85 %,) зафиксированы случаи возникновения туманов на востоке и севере области. Однако они носят радиационный характер, наблюдаются редко и бывают непродолжительными.

Учитывая отмеченные особенности образования туманов, связанные в значительной степени с местными условиями погоды и подстилающей поверхности, трудно выявить закономерности фоновое распределения туманов на исследуемой территории. Тем не менее, можно заметить очаги повышенного среднего годового числа дней с туманом. Один из них находится в южной части

территории в районе Цимлянского водохранилища (от 35 до 40 и более дней). Другие два расположены на крайнем северо-западе (30-39 дней) и северо-востоке (30-36 дней) территории. На остальной части Волгоградской области, включающей в себя районы вокруг долины Дона и центральную часть Заволжья, туманы наблюдаются реже: от 22 до 30 дней за год.

Особенности изменчивости по территории продолжительности туманов почти те же, что и их повторяемости (табл. 3.4). Такой вывод нетрудно сделать, сопоставляя данные табл. 3.1 и табл. 3.4. Среднемноголетняя годовая суммарная длительность туманов повышена в районах и пунктах с высокой вероятностью их возникновения [11, с. 12]. В южной части территории она составляет 150 – 450 и более часов. Однако в средней полосе, вытянутой с запада на восток, где минимальная повторяемость дней с туманом, их продолжительность не превышает 150 – 160 часов в год. Аналогичная особенность проявляется и в распределении средней непрерывной длительности туманов. В холодный период года в районах с наиболее активной деятельностью туманов они длятся непрерывно в среднем 8 – 9 часов.

Таблица 3.4

Средняя суммарная и непрерывная длительность туманов, час [27, 128]

Метеостанция	I	IV	VII	X	X-III	IV-IX	Год	Непрерывная	
								X-III	IV- IX
Урюпинск	30	14	0,9	13	145	20	165	4,4	3,3
Рудня	14	8	1	8	91	14	105	4,6	3,5
Камышин	107	21		17	527	27	554	8,8	5,4
Палласовка	30	9	0,03	8	181	11	192	5,5	3,7
Серафимович	23	10	0,3	7	135	13	148	5,0	3,2
Горный Балыклей	26	9		7	159	10	169	6,4	5,0
Эльтон	24	4		4	140	5	145	5,4	2,5
Волжский, ГМО	28	11		9	156	14	170	5,2	7,0
Волгоград, Гумр.	131	15	0,3	27	580	21	601	8,4	3,0
Нижний Чир	45	12	0,6	12	232	15	247	6,1	5,0
Гнилоаксайская	99	12	0,6	15	450	17	467	8,0	4,2
Среднее по области	51	11	0,3	12	254	15	269	6,2	4,2

В то же время, в пунктах, где они наблюдаются значительно реже (Урюпинск, Рудня, Серафимович и др.), каждый туман продолжается не более 5 часов. В теплый период года по сравнению с холодным время между образованием и рассеянием туманов уменьшается на 15 - 40%, а в некоторых местах (Волгоград, Гнилоаксаяская и др.) еще больше – на 45 – 65%.

3.2 Изменчивость режима туманов в годовом и межгодовом ходе

Выявленные в работе территориальные особенности распределения туманов и их учет могут способствовать оптимизации работы транспортной системы области. Однако достижение этой цели невозможно без знания закономерностей временной изменчивости туманов. Поэтому рассмотрим зависимость их режима от сезонов года, времени суток и более длительных временных периодов.

О внутригодовой вариации процессов туманообразования можно судить, прежде всего, оценивая годовой ход их количественных показателей.

Анализ табл. 3.5 приводит к выводу, что в течение холодного периода, когда активизируются процессы образования туманов, максимум дней с ними приходится на декабрь, а на юге области на декабрь – январь.

Таблица 3.5

Годовой ход среднего (с) и максимального (м) числа дней с туманом³

Станция	с, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Котельниково	с	6	5	4	2	0,4	0,2	0,1	0,4	0,6	3	5	6
	м	15	12	10	6	3	2	1	2	3	6	12	13
Гнилоаксаяская	с	11	9	9	2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,7	4	9	14
	м	21	20	18	8	2	2	2	2	4	8	14	23
Серафимович	с	4	4	5	2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	2	5	7
	м	10	9	11	10	2	1	1	2	3	5	14	14
Эльтон	с	5	5	4	1	0,1	0,07		0,1	1	1	4	7
	м	11	12	9	7	2	1		1	1	4	9	14

³ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Продолжение таблицы 3.5

Палласовка	с	6	5	7	2	0,2	0,1	0,03	0,1	0,4	2	5	8
	м	14	10	15	8	2	2	1	1	2	5	14	17
Костычевка	с	4	4	6	2	0,08	0,04	0,04	0,1	0,5	1	4	5
	м	9	9	12	6	1	1	1	2	2	4	8	13
Хоперский	с	5	5	6	3	0,6	0,2	0,5	0,8	1	3	6	7
	м	13	11	12	12	3	1	2	4	2	8	13	18
Среднее	с	5,9	5,3	5,9	2,0	0,3	0,2	0,2	0,3	0,7	2,3	5,4	7,7
	м	13	12	12	8	2	1	1	2	2	6	12	16

В среднем по области в декабре наблюдается семь дней с туманами. А в июле они или вообще не образуются (Эльтон), или их фиксировали крайне редко: 1 – 2 раза за весь 30-летний период наблюдений (Палласовка, Костычевка). В некоторых пунктах минимум среднего числа дней с туманом приходится на несколько месяцев. Например, в Гнилоаксайской – на май – август, в Серафимовиче – на май – июль.

В этой же таблице приводятся абсолютные месячные максимумы числа дней с туманом, которые позволяют оценивать величину диапазона изменчивости повторяемости туманов за каждый месяц в течение 30 лет. Видно, что их экстремумы наблюдались в то же время года, что и средние показатели. Отличия между ними проявляется лишь в величине годовой амплитуды, которая в 2 – 2,5 раза меньше у средних показателей.

Годовой ход длительности тумана (как и других его климатических характеристик) на большей части территории имеет максимум в декабре. Лишь в Урюпинске он смещен на январь, а в Рудне – на ноябрь (табл. 3.6).

Минимальная продолжительность туманов наблюдается в июле, хотя в отдельных пунктах они могут быть наименее длительными в июне (Нижний Чир), августе (Камышин), а иногда даже в мае (Рудня). Величина годовой амплитуды длительности туманов увеличивается с увеличением их повторяемости.

По размаху колебаний повторяемости туманов в различных пределах (табл. 3.7) и ее годовому ходу (табл. 3.8), можно судить не только о степени

изменчивости ее в течение года, но и в течение 30-летнего периода. Анализ табл. 3.7 и табл. 3.8 приводит к выводу, что наибольший размах колебаний числа наблюдавшихся туманов в течение 30-летнего периода имеет место в Камышине (от 21 до 100 дней) и в Урюпинске (от 21 до 80 дней с туманом в разные годы). А наименьший диапазон межгодовой изменчивости режима туманов наблюдается в Волгограде: от 61 до 100 дней туманов за многолетний период. Наибольшая изменчивость режима туманов приходится на декабрь, или февраль – март, а наименьшая на июль или на период с мая по сентябрь.

Таблица 3.6

Годовой ход средней суммарной длительности туманов, часы⁴

Месяц											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Гнилоаксайская											
99	73	60	12	0,7	0,6	0,6	1	2	15	72	131
Нижний Чир											
45	36	31	12	0,5	0,3	0,6	0,5	1	12	48	60
Волгоград, Гумрак											
131	100	70	15	2	1	0,3	0,9	2	27	102	150
Волжский, ГМО											
28	24	21	11	2				0,9	9	28	46
Эльтон											
24	22	24	4	0,1	0,1		0,4	0,7	4	20	46
Горный Балыклей											
26	21	25	9	0,3	0,2			0,5	7	37	43
Серафимович											
23	15	21	10	0,5	0,7	0,3	0,9	1	7	34	35
Палласовка											
30	28	37	9	0,3	0,2	0,03	0,4	1	8	30	48
Камышин											
107	80	83	21	3	1		0,3	2	17	68	172
Рудня											
14	11	19	8	0,9	1	1	1	2	8	20	19
Урюпинск											
30	22	24	14	0,8	0,8	0,9	2	2	13	28	28
Среднее											
51	39	37	11	1	0,5	0,3	0,7	1,4	12	44	71

⁴ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Таблица 3.7

Повторяемость различного числа дней с туманом за год, %⁵

Число дней													
11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-70	71-80	81-90	91-100
3. Урюпинск													
		14	21	14	14	11	11	7	4		4		
4. Рудня													
10	17	34	28	7	4								
7. Костычевка													
	11	4	40	32	6		7						
11. Камышин													
		7	14	17	14	7	4	7	10	14	3		3
16. Серафимович													
	3	14	32	14	4	11	18	4					
20. Эльтон													
	7	19	37	22	15								
23. Волгоград, Гумрак													
										20	56	16	8
24. Калач-на-Дону													
10	24	21	31	4		3			7				
31. Котельниково													
	3	21	25	25	11	11			4				
Среднее по области													
2,3	4,7	15,3	26,0	15,4	7,8	4,9	4,5	2,0	2,9	3,9	7,2	1,9	1,2

Таблица 3.8

Годовой ход повторяемости различного числа дней с туманом, %⁶

Число дней	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Урюпинск												
0		7		17	69	66	72	52	48	11	3	3
1 – 4	31	34	34	65	31	34	28	45	52	64	28	31
5 – 8	41	45	45	10						25	55	38
9 – 12	21	14	14	8							14	24
13 – 16	7		14									4
Костычевка												
0			4	39	92	96	96	91	60	43	33	13
1 – 4	61	58	31	57	8	4	4	9	40	57	59	62

⁵ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования⁶ То же

Продолжение таблицы 3.8

5 – 8	35	38	39	4							8	17
9 – 12	4	4	26									8
Камышин												
0		3		24	72	79	100	86	72	21		
1 – 4	28	28	34	69	28	21		14	28	62	17	20
5 – 8	28	39	38							14	38	24
9 – 12	28	17	14	7						3	38	25
13 – 16	10	10	14								7	14
17 – 20		3										11
21 – 24	6											6
Серафимович												
0	4	13	9	39	78	70	74	70	57	9		
1 – 4	50	44	31	53	22	30	26	30	43	78	48	35
5 – 8	32	39	56	4						13	44	34
9 – 12	14	4	4	4							4	22
13 – 16											4	9
Эльтон												
0			3	50	93	93	100	90	83	34		
1 – 4	50	52	53	44	7	7		10	17	66	57	24
5 – 8	43	35	37	6							39	52
9 – 12	7	13	7								4	17
13 – 16												7
Волгоград, Гумрак												
0				8	42	58	85	61	46	15		
1 – 4		4	8	70	58	42	15	39	54	27		
5 – 8	12	20	27	14						35	27	12
9 – 12	12	30	34	8						23	27	46
13 – 16	37	26	27								31	19
17 – 20	27	12	4								15	19
21 – 24	12	8										4

В отдельные, аномальные годы количество туманов может значительно превышать среднемноголетние значения (табл. 3.9). В среднем по области это превышение составляет 65%. Так, в Волгограде при среднегодовом показателе, равном 76 дней с туманами за год, в аномальный год он оказался на 19 дней больше (96 дней с туманом). Но «рекордное» превышение наблюдалось в пункте Динамо на северо-западе территории, где вместо 56 среднемноголетних дней было зафиксировано 94 дня с туманами за год.

Таблица 3.9

Наибольшее число дней с туманом [27, с. 159]

№	Станция	I	IV	VII	X	X-III	IV-IX	Год
1	Хоперский	13	12	2	8	48	16	55
6	Новоаннинский	10	9	2	7	44	11	50
9	Даниловка	11	7	2	6	42	15	47
11	Динамо	19	13	3	11	78	18	94
12	Михайловка	10	7	2	6	35	8	42
14	Палласовка	14	8	1	5	52	9	59
18	Фролово	11	8	1	6	53	14	51
19	Быково	12	7		5	49	10	60
22	Серафимович	10	10	1	5	44	13	51
23	Горный Балыклей	12	6		5	51	7	57
25	Иловля	8	5	1	5	32	11	39
29	Дубовка	15	6	1	11	62	14	64
35	Калач-на-Дону	10	8		6	30	9	33
42	Гнилоаксайская	21	8	2	8	73	12	77
44	Котельниково	15	6	1	6	39	11	58
Среднее по области		12,7	8,0	1,3	6,7	49	12	56

Известно, что в последние десятилетия климатическая система находится в неустойчивом состоянии. Это приводит к глобальному потеплению климата и изменению происходящих в атмосфере метеорологических процессов [6, с. 25]. В связи с этим в дипломной работе сделана попытка оценить возможное влияние потепления на образование туманов в Волгоградской области.

Для этой цели произведено сравнение значений климатических характеристик туманов, вычисленных за периоды с 1936 по 1965 гг., с 1936 по 1980 гг. и с 2008 по 2013 гг.

Результаты сравнения приведены в табл. 3.10 - 3.11. Они свидетельствуют, что с 1966 по 1980 год число дней с туманами на большинстве метеостанций повысилось на 1-2 дня по сравнению с предыдущим периодом.

Затем после 1980 года в динамике изменчивости режима туманов, вероятно, наступил перелом и рост количества туманов сменился их уменьшением.

Таблица 3.10

Среднее число дней с туманом (N) за различные периоды наблюдений и разности (Δ) между ними⁷

Метеостанция	Период наблюдений, годы			Δ N, дни	
	1936-1965	1936-1980	2008-2013	(1936-1980) - (1936-1965)	(2008-2013) - (1936-1965)
Елань	29		28		- 1
Урюпинск	39		37		- 2
Новоаннинский	27	28		+ 1	
Костычевка	27	29		+ 2	
Камышин	65		52		- 13
Палласовка	36		24		- 12
Фролово	32	32		0	
Серафимович	31		30		- 1
Эльтон	28	30		+ 2	
Котельниково	33	27	25	- 6	- 8

Таблица 3.11

Средняя суммарная продолжительность туманом (τ) за различные периоды наблюдений и разности (Δ_{τ}) между ними⁸

Метеостанция	Период наблюдений, годы			Δ_{τ} , час	
	1936-1965	1936-1980	2008-2013	(1936-1980) - (1936-1965)	(2008-2013) - (1936-1965)
Урюпинск	165		78		- 87
Камышин	554		205		- 349
Серафимович	148		114		- 34
Эльтон	145	162	136	+ 17	-9

Сейчас (по данным за 2008-2013 гг.) наблюдается уменьшение числа туманов (по сравнению с периодом 1936-1965 гг.) на 1-2 дня, а в некоторых пунктах даже на 12-13 дней (Камышин, Палласовка). Снизилась также и их суммарная длительность на 6 – 23% в Эльтоне и в Серафимовиче и более, чем

⁷ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

⁸ То же

на половину - в Урюпинске (53%) и в Камышине (63%). Такая отрицательная тенденция в изменчивости туманов в последние десятилетия, вероятно, происходит в результате уменьшения контрастов температуры зимой между подстилающей поверхностью и атмосферным воздухом. Неблагоприятным условием для образования туманов являются и более высокие температуры в атмосфере (связанные с потеплением) для процесса конденсации пара при которых требуется дополнительное увлажнение воздуха.

Заключение

В результате выполненной работы и решения поставленных задач, получены следующие **выводы**:

1. Образование тумана чаще всего происходит, когда наблюдается один из трех типовых синоптических процессов:

- над Черным морем располагается приземный антициклон, а над Скандинавией – глубокий циклон, формирующий пониженное давление над всей Европейской частью России (радиационный туман);
- два глубоких циклона с центрами над Францией и Прибалтикой формируют ложбины, направленные на Средиземное и Черное моря. Под влиянием их фронтов происходит вынос теплых и влажных масс воздуха с запада на холодную поверхность территории области и образование адвективных туманов;
- туманы, территориально связанные с фронтальной зоной и прохождением теплых или холодных атмосферных фронтов (фронтальные туманы);

2. На образование туманов наибольшее влияние оказывают высота над уровнем моря, ветер, температура и влажность воздуха. Установлено, что для туманов более благоприятны восточные и юго-восточные ветры (17-40%) со скоростью менее 3-6 м/с (54-96%), положительная температура воздуха (29-76%). На метеостанциях, высота над уровнем моря которых превышает 100 м, туманы образуются чаще в среднем на 64%;

3. Очаги повышенной повторяемости среднего годового числа дней с туманом находятся на юге в районе Цимлянского водохранилища (от 35 до 40 и более дней), на крайнем северо-западе (30-39 дней) и северо-востоке (30-36 дней) территории. На остальной части Волгоградской области, включающей в себя районы вокруг долины Дона и центральную часть Заволжья, туманы наблюдаются от 22 до 30 дней за год;

4. В районах с повышенной повторяемостью туманов их средняя суммарная длительность составляет 150-450 часов и более в год, а на

остальной территории она не превышает 150 – 160 часов. В холодное полугодие туман в зонах активной их деятельности непрерывно наблюдается в среднем 8 – 9 часов (на другой территории – менее 5 часов). В теплое время года их непрерывная продолжительность ниже на 15 – 40% (в некоторых пунктах – на 45 – 65%);

5. В годовом ходе повторяемости и длительности туманов максимумы чаще всего отмечаются в декабре или в январе, а минимумы – в июле. На эти же месяцы приходятся экстремальные значения климатических показателей туманов и в межгодовом ходе;

6. Для оценки возможного влияния нестабильности современного климата на режим туманов проведено сравнение их климатических характеристик, вычисленных за различные периоды лет. Оказалось, что с 1966 по 1980 год число дней с туманами на большинстве метеостанций повысилось по сравнению с предыдущим периодом (1936-1965 гг.) на 1-2 дня. Затем после 1980 года в динамике изменчивости режима туманов наметилась противоположная тенденция. Сейчас (по данным за 2008-2013 гг.) наблюдается уменьшение числа туманов (по сравнению с периодом 1936-1965 гг.) на 1-2 дня, а в некоторых пунктах даже на 12-13 дней (Камышин, Палласовка). Снизилась также и их суммарная длительность на 6 – 23% в Эльтоне и в Серафимовиче и более, чем на половину - в Урюпинске (53%) и в Камышине (63%).

Список использованной литературы

1. Акуничева А.А., Беркович Л.В., Соломахов А.Ю. «ГИС Метео» и состояние их использования в метеорологических службах РФ и стран ближнего зарубежья. – Обнинск, 2001. – 165 с.
2. Берлянд М.Е., Оникул Р.И. К прогнозу речных туманов // Труды ВНМС, Л.: Гидролетиздат, 1963. – 45 с.
3. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 188 с.
4. Волынцева О.И., Смирнова А.А. Анализ и прогноз погоды с помощью «ГИС Метео». – Обнинск, 2001. – 100 с.
5. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 98 с.
6. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 3. – С. 21-29.
7. Давыдыкина Л. И. Синоптические условия образования туманов в Волгоградской области. – Волгоград, 1963. - 140 с.
8. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. – Владивосток: ДВГУ, 2005. – 65 с.
9. Дробышев А.Д. Потепление климата и отклики на него природы и общества. //В сб. Региональные особенности функционирования и взаимодействия предприятий рекреационной отрасли и промышленного сектора. – Туапсе, 2010. – С.123 – 127.
10. Зверев А.С. Туманы и их предсказание. – Л.: Гидрометиздат, 1954. – 74 с.
11. Кирюхин Б. В. Об интенсивности и продолжительности радиационных туманов. // Труды НИУ ГУГМС. -1948. - серия 1 вып. 28. – С. 10 - 18.
12. Климатические характеристики Российской Федерации по месяцам. – Л.: Гидрометиздат, 1971. - 225 с.
13. Ключникова Л.А. К вопросу образования адвективных туманов. // Труды

- ГМЦ. – 1956. – вып. 60. – С. 36-38.
14. Кольцевые карты погоды за период 2008-2013 год «Метеоцентр». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteocenter.net/> (дата обращения 12.04.2016).
 15. Кошеленко И.В. Схема образования низкой облачности и туманов под влиянием радиационного охлаждения. // Труды УкрНИГМИ. – 1960. – вып. 21. – С. 30-37.
 16. Ляхов М.Е. Метеорологические условия возникновения и распространения туманов и их предотвращение. – М.: АН СССР, 1960. - 75 с.
 17. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 421с.
 18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, многолетние данные. Части 1 – 6. Выпуск 13. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 724 с.
 19. Раковская Э.М., Давыдова М.И. Физическая география России: учеб. для ВУЗов. – М.: Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС, 2001. – 288 с.
 20. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть 1. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 200 с.
 21. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть 2 - Л.: Гидрометиздат, 1965. – 303 с.
 22. Сапожникова С. А. Карта-схема числа дней с туманами в Волгоградской области и на примыкающих к ней территориях.// Труды НИИАК. – 1970. - вып. 65. – С. 66-69.
 23. Сборник методических указаний по авиационной метеорологии. / под ред. Плечко. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. - 205 с.
 24. Соколова Т. И. Синоптические условия образования туманов в Сталинградской области. – Сталинград, 1954. – 25 с.
 25. Справочник по климату СССР, вып. 13. Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 331 с.
 26. Справочник по климату СССР, вып. 13. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 356 с.

27. Справочник по климату СССР, вып. 13. Облачность и атмосферные явления. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 363 с.
28. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 492 с.
29. Тверской П.Н. Курс метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.
30. Тимофеев М. П. Теория адвективных туманов. – М.: Изд. АН СССР, сер. Геофиз, 1955. – 155 с.
31. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. - 83 с.
32. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: учеб., 4-е изд.: перераб. и доп. – М.: Изд – во МГУ, 1994. – 520 с.