

Исследования атмосферы и климата

УДК551.509.325:504.3.054(470.53)(045)

Т.В. Костарева

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТУМАНОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

В статье представлен пространственно-временной анализ повторяемости туманов по данным 11 метеостанций Пермского края за период 1999–2016 гг. Также рассмотрено влияние туманов на загрязнение воздуха в городах края. Туманы в Пермском крае наблюдаются в течение всего года. Распределение их по месяцам и по территории края неравномерно. Максимальное число дней с туманами отмечается в теплое время года. Наиболее часто туманы в Пермском крае наблюдаются на метеостанциях Чердынь, Вая и Октябрьский, преимущественно в августе – октябре. К синоптическим ситуациям, при которых чаще всего отмечаются туманы в крае, относятся малоградиентное поле, теплый сектор циклона и центр антициклона. На их долю приходится более 70 % от всех синоптических ситуаций, при которых наблюдались туманы. Уровень загрязнения воздуха при этих синоптических ситуациях отмечался повышенный и низкий. Высокий уровень загрязнения воздуха в дни с туманами создавался в г. Пермь при юго-западной периферии антициклона и в центре антициклона, в г. Губаха – при северной, восточной и юго-западной перифериях антициклона. В городах Березники и Соликамск опасный уровень загрязнения воздуха в дни с туманами не наблюдался. Анализ по выявлению случаев превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в туманах показал, что случаи превышения ПДК отмечаются довольно часто. В городах Пермь, Соликамск и Губаха превышения ПДК по формальдегиду составляют 40–77 % от всех примесей. В г. Березники 65 % от всех случаев превышения ПДК приходятся на диоксид азота и соляную кислоту.

Ключевые слова: туманы, пространственно-временной анализ, синоптические ситуации, загрязнение воздуха, Пермский край.

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-355-364

Туман представляет собой результат конденсации водяного пара в приземном слое атмосферы. Туманом называют совокупность взвешенных в воздухе капель воды или кристаллов льда, ухудшающих дальность видимости до значений менее 1 км. При видимости от 1 до 10 км это явление носит название дымки [1–3]. На образование туманов и дымки большое влияние оказывают местные особенности. При одинаковых метеорологических и синоптических условиях в одних районах туман может наблюдаться, а в других – нет. Для отдельных отраслей промышленности туманы являются опасным явлением погоды.

При туманах усиливается загрязнение воздуха. Капли тумана поглощают вредные вещества как вблизи поверхности, так и из вышележащих загрязненных слоев воздуха: концентрация примеси в тумане возрастает. Туманы, содержащие частицы дыма и вредных веществ, получили название смогов. С наличием смогов связывают периоды особо высокого загрязнения воздуха, сопровождающегося ростом заболеваемости и даже смертности населения [4–7].

Территория Пермского края занимает площадь более 160 тыс. км². Протяженность ее с севера на юг – 645 км и с запада на восток – 420 км. Территория характеризуется разнообразием физико-географических и циркуляционных условий, что сказывается на повторяемости и интенсивности туманов. Большое влияние на повторяемость туманов оказывают и местные условия (высота места и форма рельефа, с изменением которых меняется режим температуры, ветра и увлажнения, а также близость к водным объектам) [8].

Цель данного исследования – пространственно-временной анализ повторяемости туманов на территории Пермского края. Также была поставлена задача – рассмотреть влияние туманов на загрязнение воздуха в городах края.

Актуальность и практическая значимость настоящего исследования обусловлены необходимостью учета метеохарактеристики «туман» при прогнозе загрязнения воздуха.

Материалы и методы исследований

Знание климатических условий территории имеет большое практическое значение. Туманы относятся к аномальным метеорологическим условиям, при которых значительно возрастает опасность загрязнения воздуха. Для анализа использовались данные наблюдений Пермского ЦГМС – филиала ФБГУ «Уральское УГМС» за туманом на 11 метеостанциях Пермского края за период 1999–2016 гг.¹

Метеостанции выбирались таким образом, чтобы была охвачена вся территория края. По данным на рассматриваемых метеостанциях были рассчитаны среднее число дней с туманами за каждый месяц, среднее многолетнее количество дней с туманами, среднее многолетнее количество часов с туманами, повторяемость туманов. Также была подсчитана средняя повторяемость туманов по месяцам по всей территории края за исследуемый период. Повторяемость туманов вычислялась как отношение числа часов с туманом к общему числу часов в году ($365 \times 24 = 8760$ ч/год).

Для проведения типизации синоптических процессов использовался архив карт погоды Пермского ЦГМС – филиала ФБГУ «Уральское УГМС».²

Для выяснения влияния туманов на загрязнение атмосферы были использованы данные постов наблюдений за загрязнением атмосферы (ПНЗ) Пермского ЦГМС – филиала ФБГУ «Уральское УГМС».³

Наблюдения за концентрациями примесей в Пермском крае проводятся в четырех городах: Пермь, Березники, Соликамск и Губаха.

Предварительно по всему ряду наблюдения для каждой синоптической ситуации автором был подсчитан обобщенный интегральный показатель загрязнения воздуха, выраженный через параметр P .

$$P = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

где n – общее количество наблюдений за концентрацией примесей в городе в течение одного дня на всех стационарных постах;

m – количество наблюдений в течении того же дня с повышенной концентрацией q , которая превышает среднесезонное значение q , более чем в 1,5 раза ($q > 1,5 q_{\text{ср}}$);

$q_{\text{ср}}$ рассчитывается для каждого стационарного поста отдельно для каждого года.⁴

При значениях параметра $P < 0,20$ уровень загрязнения воздуха считается пониженным, при значениях $0,20 \leq P < 0,30$ – повышенным и при $P \geq 0,30$ высоким. Группы загрязнения воздуха получены по материалам наблюдений в городах Пермь, Соликамск, Березники и Губаха. Далее для каждого выделенного типа синоптической ситуации, при которых отмечается туман, рассчитывалось среднее значение параметра P [9].

Результаты и их обсуждение

В связи с многообразием факторов, влияющих на образование туманов, распределение числа дней с этим явлением по территории Пермского края характеризуется большой неоднородностью. Среднее число дней с туманами в течение года приведено в табл. 1.

Туманы в Пермском крае наблюдаются в течение всего года. Однако распределение их по месяцам и по территории края неравномерно. Число дней с туманами в теплый и холодный периоды года значительно отличаются. На большей части территории края туманы чаще наблюдались в теплое время года (6–27 дней). В холодное время года отмечается от 2 до 11 дней с туманами. Исключение составили г. Чайковский и п. Октябрьский, где число дней с туманами в оба периода приблизительно равно. В г. Чайковском в холодный период в среднем 2,6 дня с туманами, в теплый – 3,7 дня. В п. Октябрьский в холодный период – 12,1 дня с туманами, в теплый – 11,3 дня.

Наибольшее число дней с туманами отмечается по крайнему северу, горным и юго-восточным районам края. Общее количество дней с туманами здесь составляет от 20 до 30 дней в год. Особенно часты туманы с августа по октябрь (до 8 дней в месяц), когда относительная влажность воздуха достигает высоких значений. В п. Вая этот период смещается раньше на месяц (июль – сентябрь), что

¹ Метеорологический ежемесячник. Екатеринбург. 1999–2016 гг. № 1–12.

² Архив карт погоды. Пермь. 1999–2016 гг.

³ Архив данных о концентрациях примесей. ТЗА за период 1999–2016 гг. Пермь.

⁴ Руководство по прогнозу загрязнения воздуха и регулированию выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. Санкт-Петербург, 2009. 103 с.

связано с географическим расположением населенного пункта (крайний северо-восток). Наименьшее число дней с туманами отмечается на крайнем юго-западе (г. Чайковский – 6 дней в год) и в центральном районе края (г. Пермь и г. Лысьва – по 9 дней в год).

Таблица 1

Среднее число дней с туманами в Пермском крае(1999–2016 гг.)

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Холодный пе- риод X-III	Теплый период IV-IX	Год
Вая	0,2	0,1	0,4	1,3	2,3	3,4	5,7	8,1	5,7	1,6	0,4	0,4	3,1	26,5	29,6
Чердынь	0,3	0,5	1,2	3,7	2,1	1,7	1,5	3,9	6	5	2,6	1,4	11,0	18,9	29,9
Гайны	0,4	0,4	0,8	2,1	1,2	1,3	1,7	3,3	4,3	3,2	1,4	0,3	6,5	13,9	20,4
Кудымкар	0	0,2	0,7	1	0,7	1	1,4	2,8	2,6	1,4	0,5	0,2	3,0	9,5	12,5
Березники	0,2	0,2	0,8	1,3	0,7	0,7	0,9	2,1	2,6	1,9	1,1	0,5	4,7	8,3	13,0
Губаха	0,3	0,1	0,4	1,3	1,1	1,2	2,1	4,3	4,4	2,4	1,6	0,4	5,2	14,4	19,6
Верещагино	0,1	0,3	0,7	1,4	0,7	1,2	1,5	2,7	3,1	2,6	2	0,9	6,6	10,6	17,2
Пермь	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	1,2	1,5	1,2	1,6	0,8	0,6	0,6	2,7	6,3	9,0
Лысьва	0,1	0	0,2	0,5	0,4	1,2	1,1	2	2,1	0,8	0,4	0,5	2,0	7,3	9,3
Чайковский	0,3	0,3	0,8	0,6	0,2	0,3	0,3	0,6	1,7	0,6	0,4	0,2	2,6	3,7	6,3
Октябрьский	1,3	0,4	1,1	1,7	0,9	1,2	1,6	2,8	3,1	3,9	3,5	1,9	12,1	11,3	23,4

На рис. 1–3 представлено среднее многолетнее распределение по территории края количества дней с туманами, количества часов с туманами и повторяемости туманов за исследуемый период.

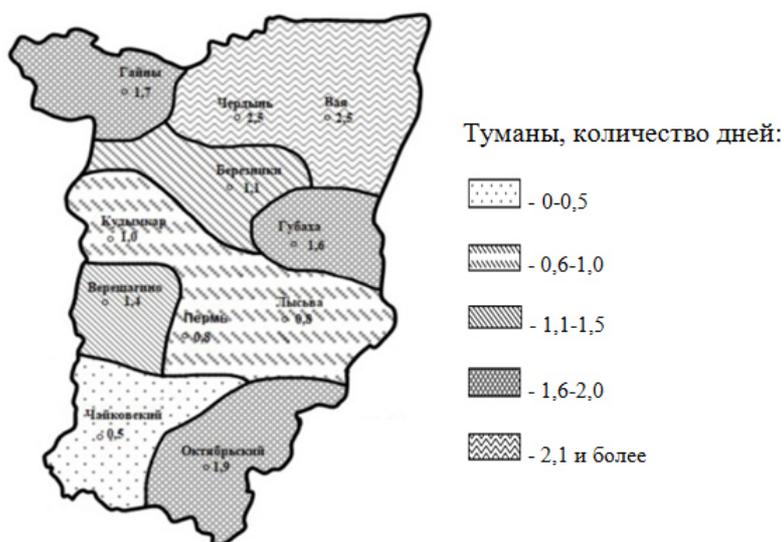


Рис. 1 Среднее число дней с туманами в Пермском крае за период 1999–2016 гг.

Районы с наибольшим средним количеством дней с туманами (рис.1) располагаются в частях повышенного рельефа местности. Прежде всего, это северо-восточный район, где количество дней с туманами в среднем составляет 2,5 дня. Второй район – это юго-восток края. Среднее количество дней с туманами здесь составляет 1,9. Можно выделить еще крайний северо-западный и горно-восточный районы края, где среднее количество дней с туманами составляет 1,6–1,7 дня. Наименьшее среднее количество дней с туманами отмечается в центральных районах и на юго-западе края, и составляет от 0,5 до 1 дня. На остальной территории Пермского края среднее количество дней с туманами составляет от 1,1 до 1,4 дня.

Важной характеристикой тумана является его продолжительность. Средняя непрерывная продолжительность тумана в зависимости от местных условий расположения метеостанций изменяется по территории в пределах 1,8–11,2 ч. (рис. 2).

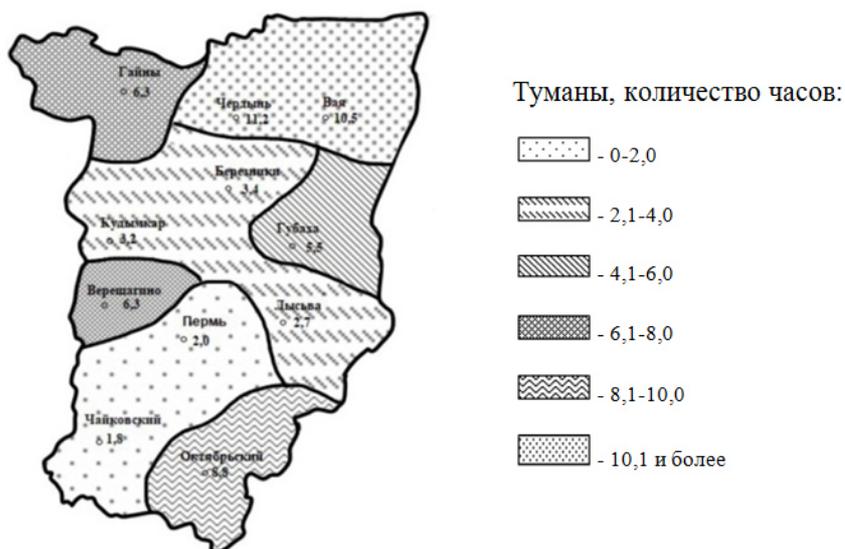


Рис. 2 Среднее количество часов с туманами в Пермском крае за период 1999–2016гг.

Наибольшая продолжительность тумана отмечается на станциях, расположенных на северо- и юго-востоке края: Чердынь – 11,2 ч, Вая – 10,5 ч, Октябрьский – 8,8ч. Станции, находящиеся в долине реки Камы, имеют наименьшую среднюю непрерывную продолжительность туманов: Пермь – 2,0 ч, Чайковский – 1,8ч.

Районы наибольшей повторяемости туманов располагаются в частях повышенного рельефа края (рис. 3).

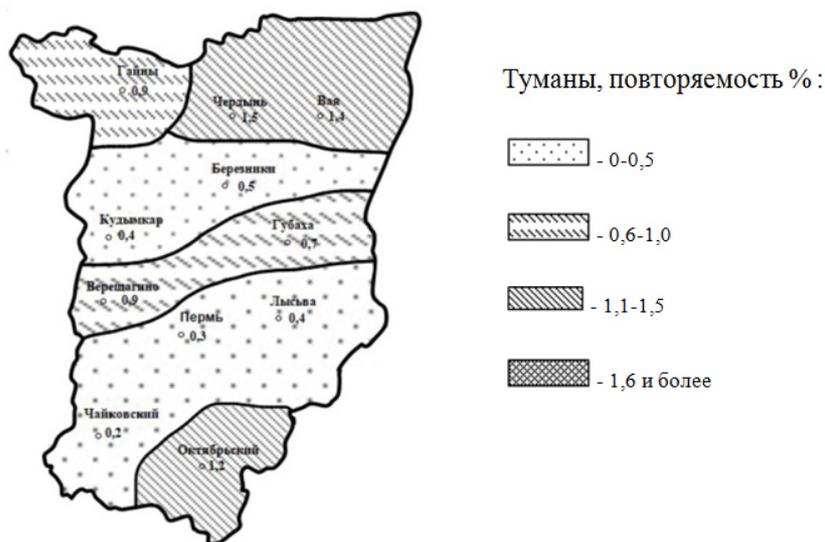


Рис. 3 Повторяемость туманов в Пермском крае за период 1999–2016гг.

В Пермском крае можно выделить два района, где повторяемость туманов в среднем превышает 1,1 % от общего числа часов в год. Это, прежде всего, северо-восточный район, где высота склонов является благоприятной для значительной повторяемости туманов (1,5 %) и юго-восточный район края (1,2 %), представляющий собой возвышенное плато, расчлененное речными долинами. Чаше всего туманы наблюдались на метеостанциях Чердынь (в среднем 1,5 %), Вая (1,4 %) и Октябрьский (1,2 %). Реже всего – на метеостанциях Пермь (0,3 %) и Чайковский (0,2 %). На большей части

остальной территории Пермского края повторяемость тумана составляет от 0,2 до 0,9 % от общего числа часов в год.

Распределение повторяемости туманов по месяцам также характеризуется неоднородностью (рис. 4). Наиболее часто туманы отмечаются в августе (в среднем 1,4 % от общего количества часов), сентябре (1,7 %) и октябре (1,5 %), что связано с наибольшими значениями относительной влажности воздуха в эти месяцы. Наименьшая повторяемость туманов отмечается в январе (0,2 %) и феврале (0,1 %) – связана с низкими значениями относительной влажности воздуха.

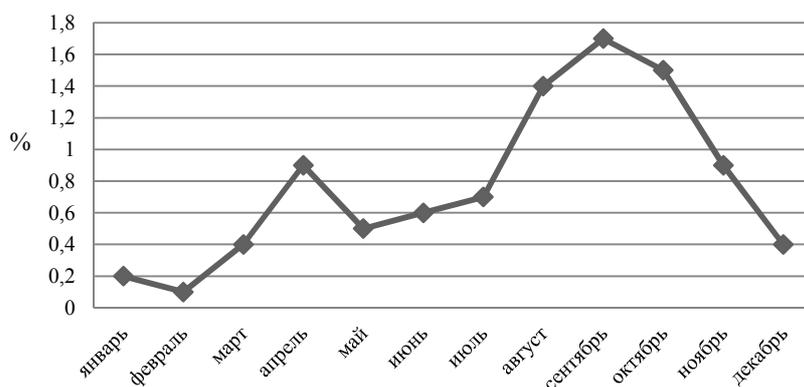


Рис. 4 Средняя повторяемость туманов по месяцам в Пермском крае за период 1999–2016гг.

Таким образом, наиболее часто туманы в Пермском крае наблюдаются на метеостанциях Чердынь, Вая, и Октябрьский, преимущественно в августе - октябре.

На рис. 5 представлено распределение количества дней с туманами по месяцам в городах, в которых ведется постоянный мониторинг загрязнения атмосферы за период 1999 – 2016гг. За исследуемый период в г. Пермь отмечалось 152 дня с туманами, в г. Березники – 220 дней, в г. Соликамске – 278 дней, в г. Губаха– 350 дней с туманами.

Наибольшее число дней с туманами во всех городах отмечается с июля по октябрь.

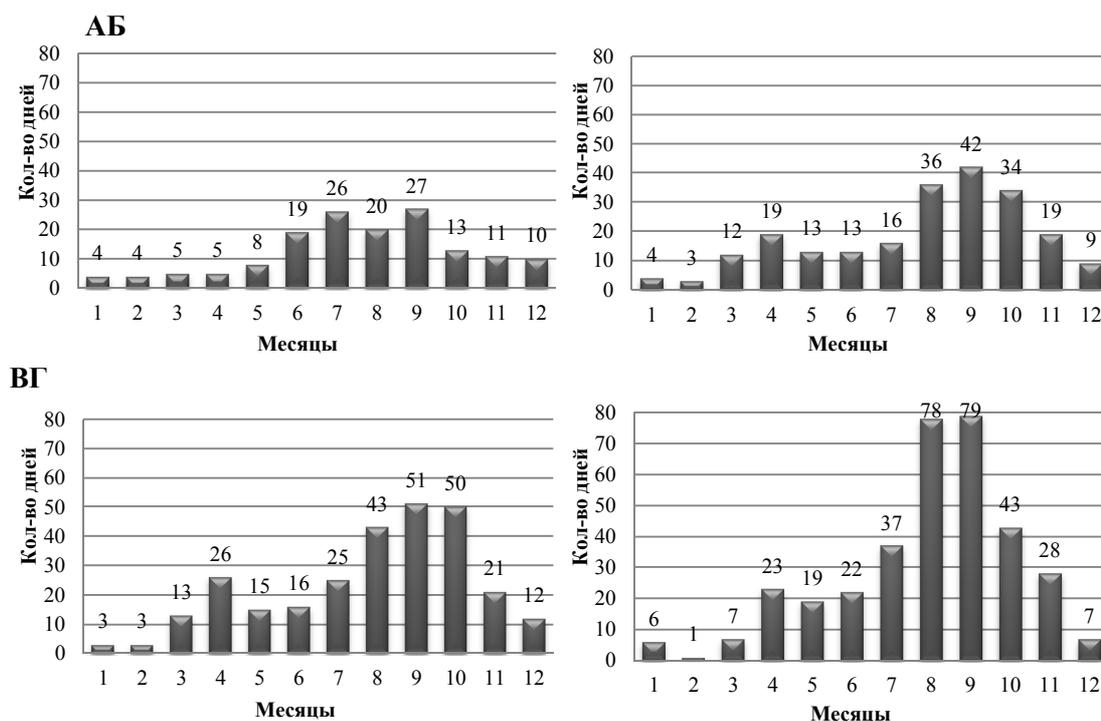


Рис. 5 Количество дней с туманами по месяцам за период 1999–2016гг. в городах Пермского края: А – г. Пермь, Б – г. Березники, В – г. Соликамск, Г – г. Губаха

В г. Пермь (рис. 4, а) чаще всего туман отмечался в июле и сентябре, соответственно 26 и 27 дней. В г. Березники (рис. 4, б) – в сентябре (42 дня), в Соликамске (рис. 4, в) – в сентябре (51 день) и в октябре (50 дней), в Губахе (рис. 4, г) – в августе (78 дней) и сентябре (79 дней).

Наименьшее число дней с туманами наблюдалось весной и зимой. В эти сезоны значительная часть земной поверхности покрыта снегом, а условия для образования капельножидкого тумана над снежной поверхностью неблагоприятны [2; 3]. В январе и феврале отмечалось минимальное количество дней с туманами: в г. Пермь – 4 дня, в г. Соликамске – 3 дня, в г. Березники – 3 дня, в г. Губаха – 1 день.

На рис. 6 представлено распределение количества дней с туманами по годам в четырех городах края за период 1999 – 2016 гг. Максимальное число дней с туманами в городах Губаха и Соликамск отмечалось в 2000 г. – 30 дней, в Перми чаще всего туманы наблюдались в 2014 г. – 14 дней, а в Березниках в 2005 г. – 20 дней.

Наименьшее количество дней с туманами в городах Березники и Соликамск было в 2010 и в 2011 гг. – по 7 дней, в Перми реже туманы отмечались в 2002 г. – 3 дня, а в Губахе в 2010 г. – 10 дней.

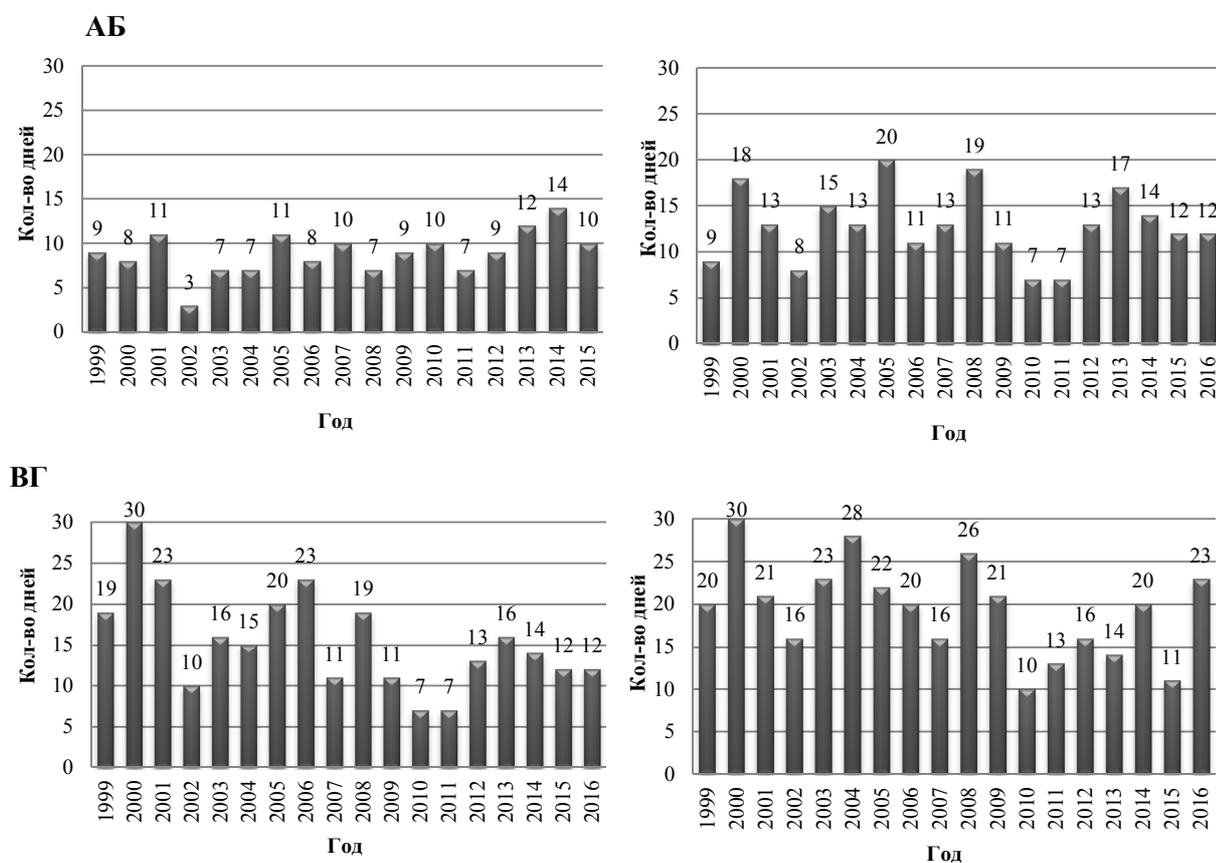


Рис. 6. Количество дней с туманами по годам за период 1999–2016 гг. в городах Пермского края: А – г. Пермь, Б – г. Березники, В – г. Соликамск, Г – г. Губаха

Далее проводилось исследование, при каких синоптических ситуациях отмечаются туманы. Повторяемость туманов при различных синоптических ситуациях в исследуемых городах края за период 1999 – 2016 гг. представлена в табл. 2. К синоптическим ситуациям, при которых чаще всего отмечаются туманы в крае, относятся малоградиентное поле, теплый сектор циклона и центр антициклона. На их долю приходится более 70 % от всех синоптических ситуаций, при которых наблюдались туманы.

Реже всего туманы отмечались при различных перифериях антициклонов и циклонов. Не отмечались туманы при синоптических ситуациях «центр циклона» (г. Березники, г. Соликамск), «северная часть циклона» (гг. Березники, Соликамск, Губаха), «северо-восточная периферия антициклона» (г. Березники), «восточная периферия антициклона» (г. Соликамск), «западная периферия антициклона» (г. Губаха).

Таблица 2

**Повторяемость(%) туманов при различных синоптических ситуациях
в городах Пермского края за период 1999–2016гг.**

№	Тип синоптической ситуации/пункт	г. Пермь	г. Березники	г. Соликамск	г. Губаха
1.	Малоградиентное поле	57	61	65	62
2.	Теплый сектор циклона	10	10	9	9
3.	Центр антициклона	8	8	7	6
4.	Седловина	3	5	7	6
5.	Центр циклона	6	0	0	2
6.	Тыловая часть циклона	3	3	2	2
7.	Передняя часть циклона	3	3	2	2
8.	Северная часть циклона	1	0	0	0
9.	Северная периферия антициклона	3	2	0	6
10.	Северо-восточная периферия антициклона	1	0	3	1
11.	Восточная периферия антициклона	3	2	0	2
12.	Западная периферия антициклона	1	3	3	0
13.	Юго-западная периферия антициклона	1	3	2	2

После проведения типизации синоптических процессов, при которых отмечался туман в городах края, был установлен уровень загрязнения воздуха для каждого выделенного типа синоптической ситуации и рассчитано среднее значение параметра Р (табл. 3).

В синоптических ситуациях «малоградиентное поле» и «теплый сектор циклона», при которых чаще всего отмечается туман, уровень загрязнения воздуха характеризуется как повышенный и низкий.

Высокий уровень загрязнения воздуха в дни с туманами создается в г. Пермь при юго-западной периферии антициклона (Р=0,34) и в центре антициклона (Р=0,32). Повторяемость туманов при этих синоптических ситуациях не велика и составляет 1 % и 8 % соответственно. Высокий уровень загрязнения в г. Губаха отмечался при северной (Р=0,30), восточной (Р=0,34) и юго-западной перифериях антициклона (Р=0,31). Туманы при этих синоптических ситуациях отмечались в 6 %, 2 % и 2 % соответственно от всех случаев возникновения туманов. При других синоптических ситуациях уровень загрязнения воздуха в городах Пермь и Губаха характеризуется как пониженный и повышенный.

Таблица 3

**Среднее значение параметра Р при различных синоптических ситуациях в дни с туманами
за период 1999–2016гг.**

№	Тип синоптической ситуации/пункт	г. Пермь	г. Березники	г. Соликамск	г. Губаха
1.	Малоградиентное поле	0,21	0,21	0,25	0,17
2.	Теплый сектор циклона	0,21	0,15	0,29	0,16
3.	Центр антициклона	0,32	0,23	0,20	0,12
4.	Седловина	0,20	0,22	0,14	0,23
5.	Центр циклона	0,16	-	-	0,26
6.	Тыловая часть циклона	0,23	0,09	0,11	0,10
7.	Передняя часть циклона	0,20	0,16	0,08	0,15
8.	Северная часть циклона	0,21	-	-	-
9.	Северная периферия антициклона	0,17	0,20	-	0,30
10.	Северо-восточная периферия антициклона	0,24	-	0,10	0,09
11.	Восточная периферия антициклона	0,19	0,12	-	0,34
12.	Западная периферия антициклона	0,17	0,21	0,24	-
13.	Юго-западная периферия антициклона	0,34	0,23	-	0,31

В городах Березники и Соликамск опасный уровень загрязнения воздуха в дни с туманами за исследуемый период не наблюдался.

Далее был проведен анализ случаев превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в туманах, т. к. ПДК является главным критерием качества атмосферного воздуха⁵.

В Пермском ЦГМС – филиале ФБГУ «Уральское УГМС» мониторинг загрязнения атмосферы проводится по 12 основным и специфическим веществам: взвешенные вещества; диоксид серы; оксид углерода; диоксид азота; оксид азот; сероводород; фенол; фтористый водород; хлор; соляная кислота; аммиак; формальдегид.

Практически все перечисленные выше загрязняющие вещества были обнаружены в туманах, в том числе и в концентрациях, превышающих ПДК (табл. 4).

Таблица 4

Число случаев превышения ПДК в дни с туманами по загрязняющим веществам

№	Загрязняющее вещество	г. Пермь	г. Березники	г. Соликамск	г. Губаха
1.	взвешенные вещества	5	14	1	20
2.	диоксид серы				1
3.	оксид углерода	12	8	1	1
4.	диоксид азота	23	34	9	5
5.	оксид азот				2
6.	сероводород	2	4	5	
7.	фенол	6	8		4
8.	фтористый водород				
9.	хлор				
10.	соляная кислота	15	57	38	
11.	аммиак	6	16	15	
12.	формальдегид	78	2	38	11
	ИТОГО:	147	143	107	44

Анализ показал, что случаи превышения ПДК загрязняющих веществ в туманах отмечаются довольно часто. В городах Пермь, Соликамск и Губаха превышения ПДК по формальдегиду составляют 40 – 77 % от всех примесей. В г. Березники 65 % от всех случаев превышения ПДК приходится на диоксид азота и соляную кислоту.

Заключение

Пространственно-временной анализ повторяемости туманов, проведенный по данным 11 метеостанций Пермского края за период 1999–2016 гг. показал:

1. Распределение туманов в течение года и по территории Пермского края неравномерно. В теплое время года туманы наблюдались от 6 до 27 дней, в холодное – от 2 до 11 дней.

2. Наибольшее число дней с туманами отмечается по крайнему северу, горным и юго-восточным районам края. Общее количество дней с туманами здесь составляет от 20 до 30 дней в год.

3. Наиболее часто туманы в Пермском крае наблюдаются на метеостанциях Чердынь, Вая и Октябрьский, преимущественно в августе – октябре (до 8 дней в месяц). Наименьшее число дней с туманами отмечается на крайнем юго-западе (г. Чайковский – 6 дней в год) и в центральном районе края (г. Пермь и г. Лысьва – по 9 дней в год).

4. Туманы чаще отмечались при синоптической ситуации «малоградиентное поле»: 57 %–65 % от всех случаев. Реже всего туманы отмечались при различных перифериях антициклонов и циклонов: 1–2 %.

5. Опасный уровень загрязнения воздуха в г. Пермь создается в туманах при синоптических ситуациях «антициклон» и «юго-западная периферия антициклона», в г. Губаха – при синоптических ситуациях «северная периферия антициклона», «восточная периферия антициклона» и «юго-западная периферия антициклона». В городах Березники и Соликамск опасный уровень загрязнения воздуха за весь исследуемый период в туманах не наблюдался.

⁵Предельно допустимые концентрации(ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы. ГН2.1.6.1338-03.М., 2004. Дополнения ГН 2.1.6.1983-05 и ГН 2.1.6.1984-05. М.,2006.

6. В туманах в городах Пермь, Соликамск и Губаха превышения ПДК по формальдегиду составляют 40–77 % от всех примесей, в г. Березники по диоксиду азота и соляной кислоте – 65 % от всех случаев.

В заключение следует сказать, что поскольку случаи превышения ПДК загрязняющих веществ можно регулировать, а метеорологические условия, при которых концентрации примесей возрастают, невозможно, необходимо регулировать выбросы вредных веществ в атмосферу, которые приводят к формированию высокого уровня загрязнения воздуха в периоды неблагоприятных метеорологических условий, таких как туман.

Результаты и выводы, полученные в данном исследовании, рекомендуется учитывать при прогнозе загрязнения воздуха в городах Пермского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 752 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
3. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 711 с.
4. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 272 с.
5. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие/ Э.Ю. Безуглая, Л.И. Елекоева, Е.К. Завадская и др.; Под ред. Э.Ю. Безуглой, М.Е. Берлянда. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
6. Сонькин Л.Р. О влиянии метеорологических условий на загрязнение воздуха в различных городах // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 1975. Вып. 325. С. 52–60.
7. Костарева Т.В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края // Географический вестник. 2017. №2(41). С. 91–99.
8. Шкляев А.С., Балков В.А. Климат Пермской области. Пермь: Пермское книжное изд-во, 1963. 189 с.
9. Система прогноза и предотвращения высоких уровней загрязнения воздуха в городах. СПб: Гидрометеиздат, 2004. 128 с.

Поступила в редакцию 14.07.2022

Костарева Татьяна Викторовна, кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы
Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева 15
E-mail: nmu2@meteoperm.ru

T.V. Kostareva

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF FOG RECURRENCE IN THE PERM REGION AND ITS IMPACT ON ATMOSPHERIC POLLUTION

DOI: 10.35634/2412-9518-2022-32-3-355-364

The article presents a spatio-temporal analysis of fog recurrence according to data from 11 weather stations in the Perm region. The effect of fog on air pollution in the cities of the region is also considered. The study period is 1999-2016. Fogs in Perm Krai are observed throughout the year. Their distribution by month and territory is uneven. The maximum number of days with fogs is observed in warm seasons. Fogs are most often observed in Perm Krai in Cherdyn, Vaya and Oktyabrsky weather stations, mainly in August-October. The synoptic situations in which fogs are most often observed in the region include low-gradient field, warm cyclone sector and anticyclone centre. These account for more than 70 % of all synoptic situations in which fogs were observed. The level of air pollution at these synoptic situations was high and low. High level of air pollution on days with fogs was created in Perm at the south-western periphery of the anticyclone and in the centre of the anticyclone, in Gubakha – at the northern, eastern and south-western periphery of the anticyclone. In the towns of Berezniki and Solikamsk, no dangerous air pollution levels were observed on days with fogs. Analysis conducted to identify cases of exceeding Maximum Permissible Concentrations (MPC) of pollutants in fogs showed that cases of exceeding MPC were quite frequent. In Perm, Solikamsk and Gubakha cities MPC exceedances for formaldehyde account for 40 - 77 % of all impurities. In Berezniki, nitrogen dioxide and hydrochloric acid account for 65 % of all MPC exceedances.

Keywords: fogs, spatio-temporal analysis, synoptic situations, air pollution, Perm region.

REFERENCES

1. Matveev L.T. *Kurs obshchey meteorologii. Fizika atmosfery* [Course of general meteorology. Physics of the atmosphere], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984, 752 p. (in Russ.).
2. Vorob'ev V.I. *Sinopticheskaya meteorologiya* [Synoptic meteorology], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, 616 p. (in Russ.).
3. Zverev A.C. *Sinopticheskaya meteorologiya* [Synoptic meteorology], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 711 p. (in Russ.).
4. Berlyand M.E. *Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery* [Forecasting and regulation of atmospheric pollution], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 272 p. (in Russ.).
5. Bezuglaya E.Yu., Elekoeva L.I., Zavadskaya E.K. et al. *Klimaticheskie kharakteristiki usloviy rasprostraneniya primesey v atmosfere. Spravochnoe posobie* [Climatic characteristics of impurity distribution conditions in the atmosphere. Reference Manual], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 328 p. (in Russ.).
6. Son'kin L.R. *O vliyaniy meteorologicheskikh usloviy na zagryaznenie vozdukha v razlichnykh gorodakh* [On Influence of Meteorological Conditions on Air Pollution in Various Cities], in *Trudy glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova*, 1975, iss. 325, pp. 52–60 (in Russ.).
7. Kostareva T.V. [The influence of meteorological factors on forecasting air pollution in cities and towns of the Perm region], in *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2017, no. 2(41), pp. 91–99 (in Russ.).
8. Shklyayev A.S., Balkov V.A. *Klimat Permskoy oblasti* [Climate of Perm Region], Perm': Permskoe knizhnoe izd-vo, 1963, 189 p. (in Russ.).
9. *Sistema prognoza i predotvrashcheniya vysokikh urovney zagryazneniya vozdukha v gorodakh* [System of forecasting and prevention of high levels of air pollution in cities], St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2004, 128 p. (in Russ.).

Received 14.07.2022

Kostareva T.V., Candidate of Geography,
Associate Professor at Department of Meteorology and Protection of Atmosphere
Perm State University
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990
E-mail: nmu2@meteoperm.ru