

**ФАКТОРЫ САМООЧИЩЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ КАЗАНИ**

Г.И. Шишкин, аспирант

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
(Россия, г. Казань)

DOI:10.24412/2500-1000-2022-4-1-25-34

***Аннотация.** в работе произведена оценка стратификации атмосферы, выявлены условия распределения изотермических и инверсионных слоев в нижнем слое атмосферы по данным температурного профилера МТР-5 на метеорологической станции «Казань-Университет». Кроме того, основываясь на данных наблюдений за направлениями ветра на метеорологической станции «Казань-Опорная» было проанализировано изменение ветрового режима города Казани за период 1966-2020 гг. Исследование автора имеет не только научное, но и важное прикладное значение.*

***Ключевые слова:** стратификация атмосферы, профилемерные измерения, температурная инверсия, ветровой режим.*

Загрязнение атмосферного воздуха в наши дни является одним из основополагающих факторов негативного воздействия на здоровье населения практически во всех крупных городах России. При этом количество городов с населением, постоянно находящимся «в зоне риска» неуклонно растет. Основной загрязняющий вклад, конечно же, приходится на промышленность и автомобильный транспорт. Среднегодовые показатели загрязнения воздуха зачастую превышают допустимые санитарно-гигиенические нормы и ПДК. С начала XXI века ежегодно происходит прирост объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников на 2% в год.

Выделим основные факторы, определяющие изменчивость загрязнённости городского воздуха. Это колебания количества выбросов и метеорологические условия, находящиеся в сложной зависимости с содержанием вредных примесей в атмосфере.

Большинство исследователей сходятся на необходимости использования в анализе этой зависимости не просто отдельных метеорологических элементов, а целого комплекса характеристик, соответствующих определенной метеорологической ситуации [1-4].

На данный момент служба Росгидромета имеет в своём распоряжении качественные математические модели по определе-

нию потенциала загрязнения и самоочищения атмосферного воздуха. Основная сложность заключается в наполнении этих моделей оперативными данными. Поэтому наибольшее распространение получили различные методики, использующие доступную метеорологическую информацию и удачно применяемые для любой территории.

**Методы исследования и обсуждение результатов.**

**I. Оценка стратификации нижнего слоя атмосферы.**

Автором использован банк данных профилемерных наблюдений метеорологической обсерватории КФУ за 2015 год. Ряды исходных данных представлены в виде серии последовательных данных (ежедневных) с временным разрешением 10 минут. Пространственное разрешение (по высоте) - 50 метров.

Обработка и обобщение исходных данных проводилась с использованием авторских программ в среде программирования VBA, визуализация данных проводилась с использованием ГИС Golden Software Surfer.

Профилемер МТР-5 установлен на высоте 18 м на метеорологической вышке в условиях плотной городской застройки. Анализ данных прибора невозможно проводить без учёта скорости переноса в нижнем слое атмосферы. Скорость такого переноса заимствовалась из архива данных

приземных метеорологических наблюдений на станции Казань-университет в непосредственной близости к месту установки метеорологического профилемера.

Используя профилемер МТР-5, мы можем получать подробные, непрерывные данные о температуре воздуха пограничного слоя атмосферы и наглядно отображать термическую структуру данного слоя с учетом её временной динамики. Это даёт нам возможность оценить статистические характеристики изотермических и инверсионных слоев.

Прибор МТР-5 неприхотлив и позволяет проводить измерения почти в любых погодных условиях. В рассматриваемый период сбоев в работе измерительного

комплекса, связанных с отключениями электричества или же иными неблагоприятными явлениями погоды не наблюдалось.

Автором проведена обработка, обобщение и визуализация исходных данных. Анализ построенных диаграмм позволяет получить представление о высотновременном распределении температуры воздуха. В качестве наглядного примера были взяты центральные месяцы всех сезонов года (рис. 1-4). Так, максимально контрастным является распределение температуры воздуха в летний период, когда роль подстилающей поверхности максимальна и наблюдается максимальный размах как по времени, так и по высоте.

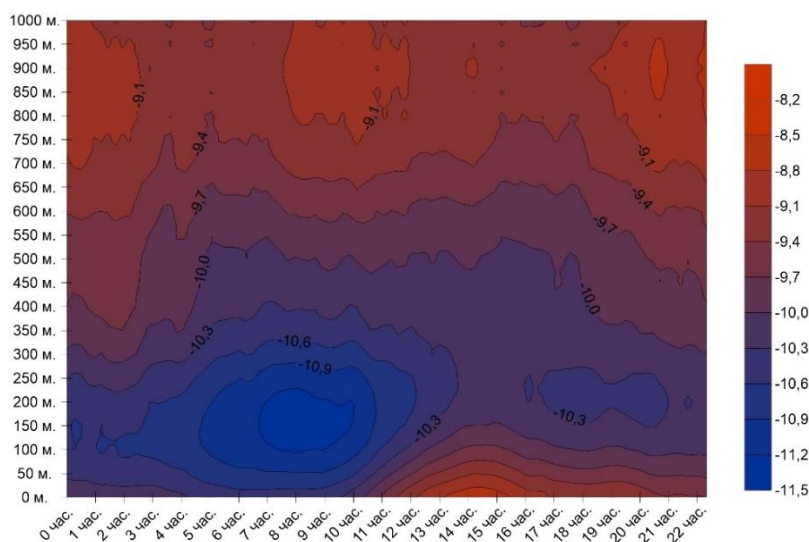


Рис. 1. Среднемесячное распределение температуры с высотой. Январь (осредненное за период с 1.01.2015 по 31.01.15)

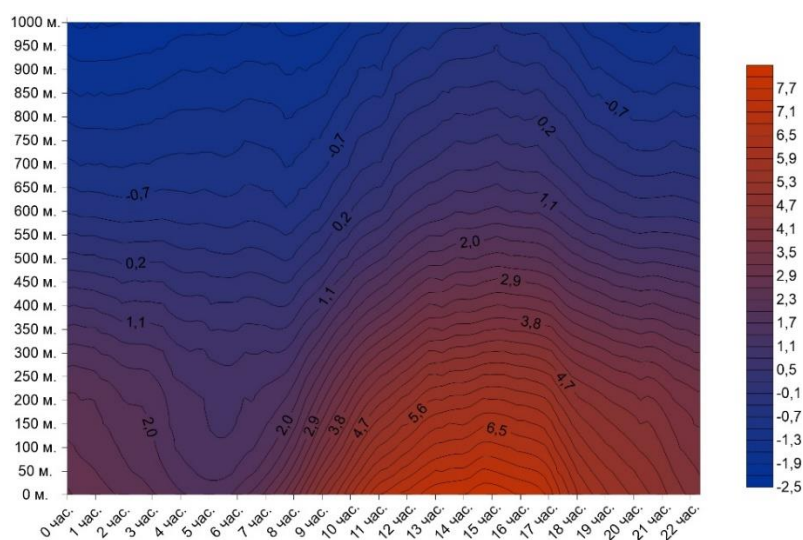


Рис. 2. Среднемесячное распределение температуры с высотой. Апрель (осредненное за период с 1.04.2015 по 30.04.15)

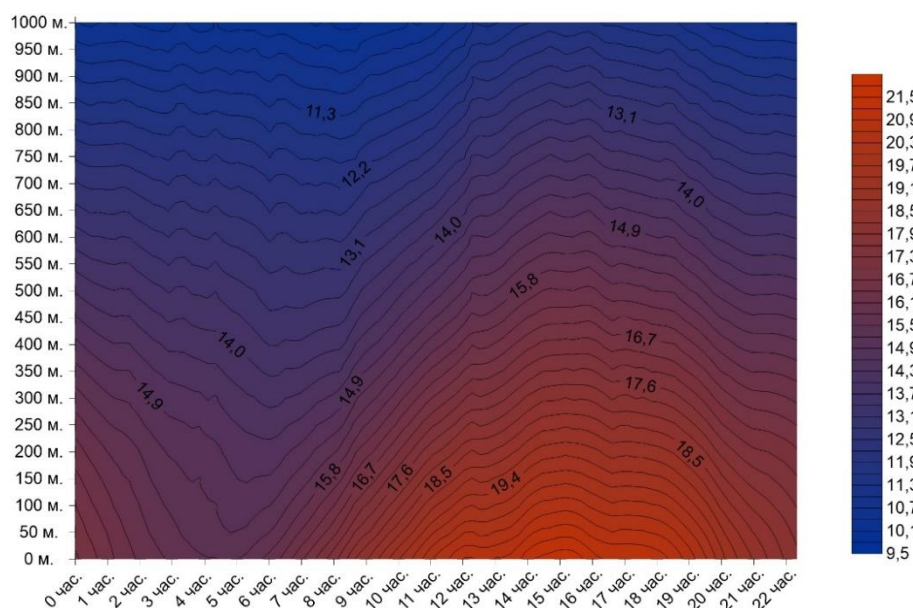


Рис. 3. Среднемесячное распределение температуры с высотой. Июль (осредненное за период с 1.07.2015 по 31.07.15)

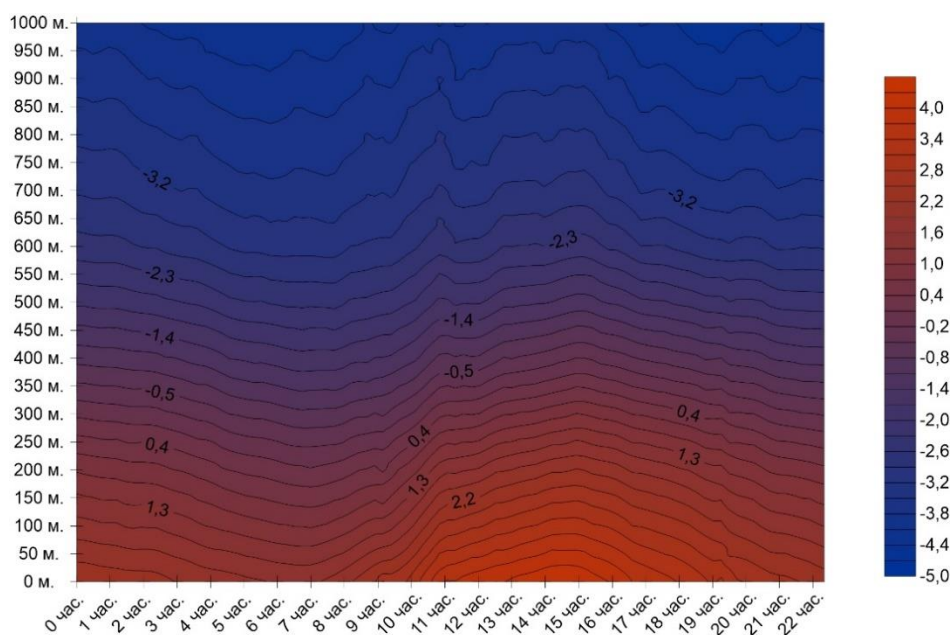


Рис. 4. Среднемесячное распределение температуры с высотой. Октябрь (осредненное за период с 1.10.2015 по 31.10.15)

В ходе работы выполнено сравнение вертикальных градиентов температуры в приземном слое в наиболее контрастные зимний и летний сезоны года. Выявленные существенные расхождения между ними указывают на различия термической структуры в условиях города. Исходя из

данных таблиц 1-2, максимальная повторяемость инверсий наблюдается в зимнее время года в толще атмосферы 300-800 м, достигая своего максимума (63,3% сроков измерения) в слое 600-700 м. Отмечается также выраженный минимум у земной поверхности (слой 0-100 м).

Таблица 1. Повторяемость (%) вертикальных градиентов  $dT^{\circ}C/100m$ . Январь (получены на основе рядов данных с 01.01.2015 по 31.01.2015)

Градации $dT^{\circ}C/100m$	Слой (м)									
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
( $-\infty$ ;-5]										
(-5;-4]										
(-4;-3]										
(-3;-2]	0,1	0,8								
(-2;-1]	36,3	16,8	19,4	22,2	19,6	12,2				
(-1;-0,5]	44,0	37,0	21,6	14,9	14,4	16,4	16,2	0,5	0,7	
(-0,5;0]	9,1	15,6	10,7	11,5	13,8	16,1	20,5	36,8	42,1	69,4
(0;0,5]	4,5	8,8	9,3	<b>9,0</b>	<b>13,4</b>	<b>13,6</b>	<b>21,5</b>	<b>38,8</b>	<b>48,6</b>	30,6
(0,5;1]	2,1	6,2	9,3	<b>9,9</b>	<b>12,2</b>	<b>15,3</b>	<b>22,4</b>	<b>22,0</b>	<b>8,4</b>	
(1;2]	3,5	9,0	15,7	<b>19,0</b>	<b>24,2</b>	<b>24,9</b>	<b>19,4</b>	<b>2,0</b>	<b>0,2</b>	
(2;3]	0,4	3,8	10,0	<b>12,2</b>	<b>2,5</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0</b>			
(3;4]		1,7	3,6	<b>1,4</b>						
(4;5]		0,4	0,5							
(5;+ $\infty$ )										

Таблица 2. Повторяемость (%) вертикальных градиентов  $dT^{\circ}C/100m$ . Июль (получены на основе рядов данных с 01.07.2015 по 31.07.2015)

Градации $dT^{\circ}C/100m$	Слой (м)									
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
( $-\infty$ ;-5]										
(-5;-4]										
(-4;-3]										
(-3;-2]	0,1									
(-2;-1]	45,0	46,3	40,5	36,9	30,4	23,7	10,3	2,2	11,3	20,0
(-1;-0,5]	34,2	29,3	37,8	43,5	46,8	53,2	72,1	93,1	87,6	79,7
(-0,5;0]	12,4	15,6	19,2	18,6	19,5	20,5	17,3	4,7	1,1	0,3
(0;0,5]	<b>4,7</b>	<b>6,4</b>	2,5	1,0	3,2	2,5	0,4			
(0,5;1]	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>	0,0		0,1	0,1				
(1;2]	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>								
(2;3]	<b>0,3</b>									
(3;4]										
(4;5]										
(5;+ $\infty$ )										

Летнее распределение повторяемости инверсий в приземном слое атмосферы отличается от зимнего. Согласно данным таблицы 2, общая повторяемость инверсий в слоях 0-1000 м не превышает 10 % и имеет выраженный максимум у земной поверхности (слой 0-200 м).

При среднегодовом рассмотрении (табл. 3), повторяемость сроков с инверсионным распределением температуры не превышает 25%, максимум приходится на слой (600-700 м).

Таблица 3. Повторяемость (%) вертикальных градиентов  $dT^{\circ}C/100m$ . Ср. год. (получены на основе рядов данных с 01.01.2015 по 31.12.2015)

Градации $dT^{\circ}C/100m$	Слой (м)									
	0-100	10-200	20-300	30-400	40-500	50-600	60-700	70-800	80-900	900-1000
$(-\infty;-5]$	0,									
$(-5;-4]$	0,	0,			0,					
$(-4;-3]$			0,	0,	0,	0,				0,0
$(-3;-2]$	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,0
$(-2;-1]$	3	30	30	29	25	19	6,	1,	6,	10,
$(-1;-0,5]$	3	34	30	30	31	34	42	43	38	31,
$(-0,5;0]$	1	16	18	20	23	23	27	34	40	53,
$(0;0,5]$	5,	6,	8,	8,	10	11	<b>14</b>	16	13	4,1
$(0,5;1]$	3,	4,	4,	4,	4,	5,	<b>6,</b>	3,	0,	0,0
$(1;2]$	3,	4,	4,	4,	3,	4,	<b>3,</b>	0,	0,	
$(2;3]$	1,	1,	1,	1,	0,	0,	<b>0,</b>			
$(3;4]$	0,	0,	0,	0,	0,	0,				
$(4;5]$	0,	0,	0,							
$(5;+\infty)$	0,	0,			0,	0,	<b>0,</b>			

На основе данных с 5-минутным разрешением по времени и 50 м шагом по высоте было посчитано количество случаев инверсий в каждом 50 метровом слое за сутки. Далее это количество было умножено

на шаг по времени (5 минут) и отсюда получены данные о средней продолжительности инверсии для центральных месяцев зимнего и летнего сезонов года (рис. 5-6).

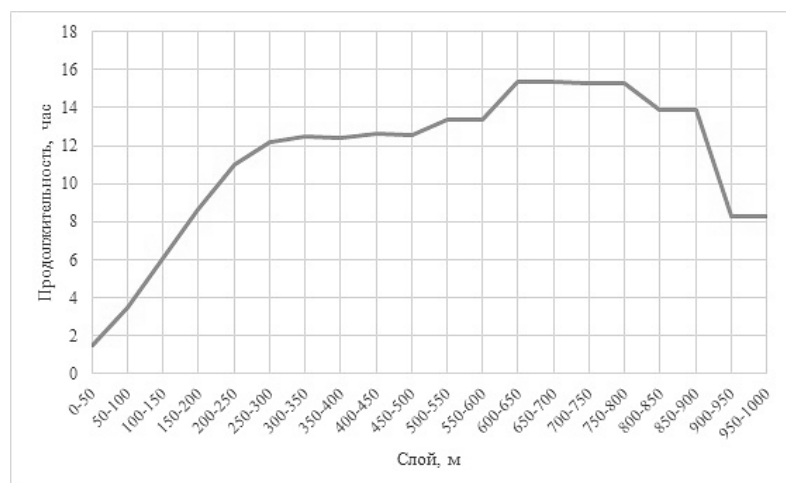


Рис. 5. Ср. продолжительность инверсии в слоях атмосферы. Январь

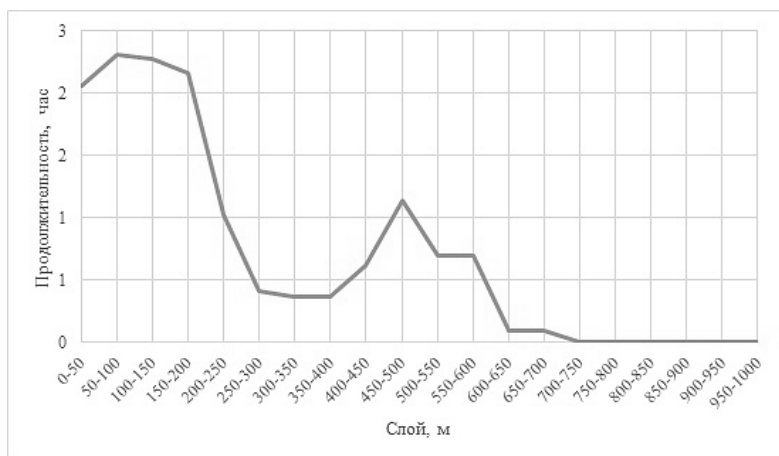


Рис. 6. Ср. продолжительность инверсии в слоях атмосферы. Июль

Согласно построенным графикам, продолжительность инверсии в среднем растет с высотой в холодный период года и падает в теплый период. Величина средней продолжительности инверсии изменялась в январе от 1,5 до 15,5 часов, в июле от 0,1 до, 2,6 часов. Средняя продолжительность явления в январе составила примерно 9 часов, летом порядка 1,5 часов. Таким образом, максимальное значение характеристики продолжительности отмечено в ян-

варе месяце. Это говорит о том, что зимний сезон особенно неблагоприятен для рассеивания примесей является в атмосфера города.

Существует еще одна важная характеристика температурных инверсий. Анализ вертикальных профилей температуры за исследуемый период с временным разрешением 5 минут, позволил оценить временное распределение мощности инверсионного слоя (рис. 7).

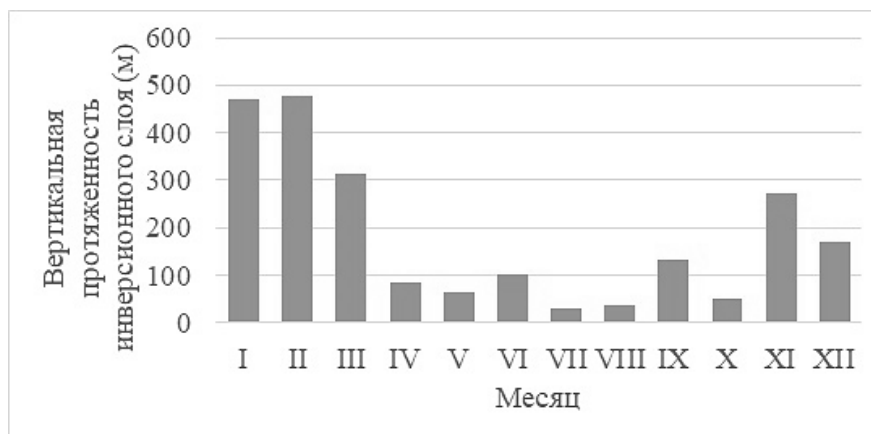


Рис. 7. Ср. вертикальная протяженность инверсионного слоя

Таким образом, средняя мощность инверсионного слоя в нижнем слое атмосферы максимальна в холодный период года (что препятствует рассеянию примесей) и минимальна в теплый период (что способствует рассеянию примесей).

## II. Оценка изменений ветрового режима

Рассматривая влияние макромасштабной атмосферной циркуляции на процесс

самоочищения воздуха в г. Казани, нельзя забывать о факторе орографии.

Искусственно созданные формы рельефа, плотная городская застройка, и особенности её объёмно-пространственной структуры обуславливают специфическую циркуляцию воздушных потоков и изменение ветрового режима, напрямую связанного с самоочищением атмосферного воздуха. Динамическое влияние, а именно шероховатость поверхности, приводит к

заметному снижению скорости ветра в городе по сравнению с пригородом [5].

В качестве исходного материала для данного исследования был использован

банк данных наблюдений за направлениями ветра на метеорологической станции Казань-Опорная с суточной частотой за период 1966-2020 гг.

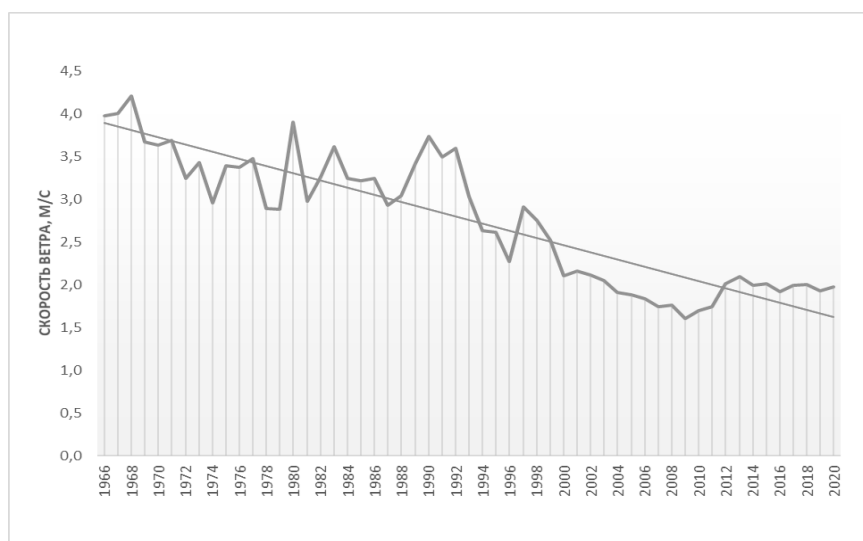


Рис. 8. Многолетний ход среднегодовой скорости ветра в г. Казани (1966-2020)

Оценив многолетний ход среднегодовой скорости ветра в Казани за исследуемый период (рис. 8), можно сделать вывод о том, что происходит заметное снижение

данной характеристики (в среднем на 2 м/с). Уменьшение скорости ветра привело к ухудшению аэрации жилых зон, повышению загрязнения воздушной среды.

Таблица 4. Повторяемость направлений ветра в г. Казани за период 1966-2020 гг.

Направления ветра	1966-2020	1966-1976	1977-1987	1988-1998	1999-2009	2010-2020
	%	%	%	%	%	%
С	10,2	12,9	10,1	10,5	9,0	8,6
СВ	5,4	3,4	5,7	6,3	6,3	5,2
В	8,9	8,6	7,8	7,5	8,2	12,5
ЮВ	11,1	5,1	9,3	11,2	14,1	16,0
Ю	18,2	23,3	21,2	21,3	13,3	12,2
ЮЗ	9,3	6,6	9,6	10,4	12,1	8,0
З	16,9	17,2	16,7	15,6	15,5	19,4
СЗ	8,7	5,9	8,8	9,7	8,0	11,1

По данным таблицы 8 были построены «розы ветров» (рис. 9-14)

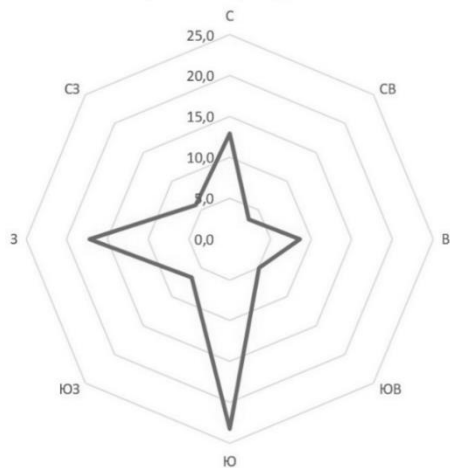


Рис. 9. Повторяемость (%) направлений ветра 1966-1976

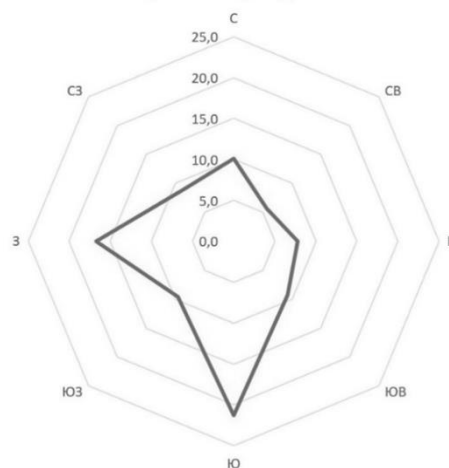


Рис. 10. Повторяемость (%) направлений ветра 1977-1987

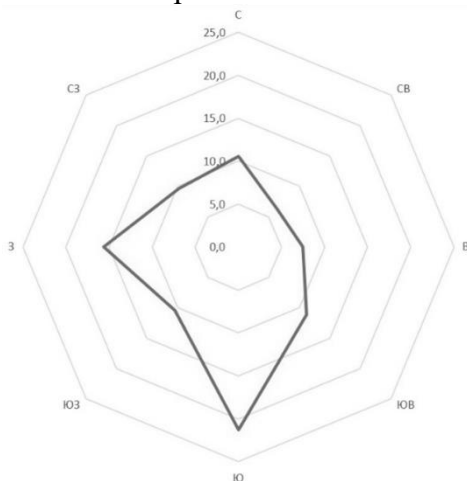


Рис. 11. Повторяемость (%) направлений ветра 1988-1998

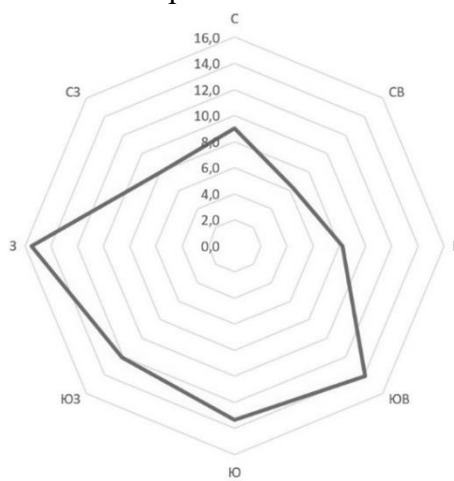


Рис. 12. Повторяемость (%) направлений ветра 1999-2009

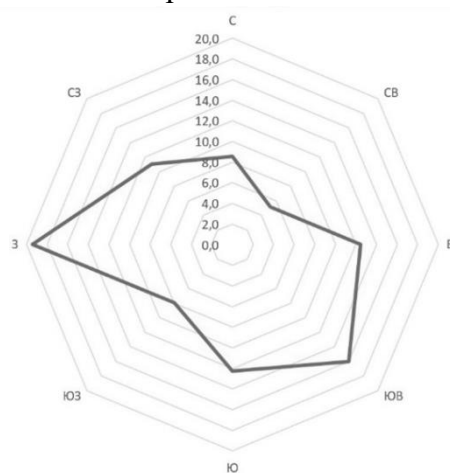


Рис. 13. Повторяемость (%) направлений ветра 2010-2020

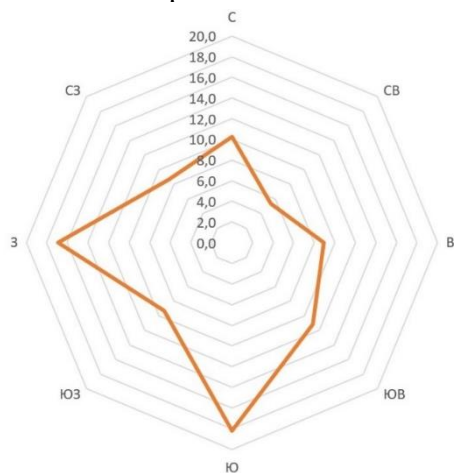


Рис. 14. Повторяемость (%) направлений ветра 1966-2020

Как показывают результаты вычислений, г. Казань за период 1966-2020 гг. находилась под влиянием ветров преимущественно западного и южного направлений.

При этом, в последнее десятилетие происходит тенденция на резкое снижение повторяемости южных ветров (почти вдвое), а также небольшое снижение повторяемости северных ветров. Западное же



направление ветра остаётся преобладающим. Кроме того, особенно заметно увеличилась повторяемость северо-западных и юго-восточных ветров.

Данные смены ветрового режима связаны с изменениями макромасштабной атмосферной циркуляции, а именно со всё более возрастающим влиянием западно-восточного переноса воздушных масс и ослаблением меридиональной составляющей их переноса.

Таким образом, за последние десятилетия аэрация улиц, ориентированных зонально (т.е. с запада на восток), а также с северо-запада на юго-восток, многократно усиливается, что является важным фактором самоочищения атмосферы от вредных примесей. В то же время, аэрация улиц, ориентированных с севера на юг, а также с юго-запада на северо-восток уменьшается, что способствует накоплению вредных примесей в воздушной среде исследуемых улиц.

#### **Заключение**

В ходе исследования были рассмотрены особенности стратификации приземного слоя атмосферы, а также ветрового режима г. Казани. Были получены следующие результаты:

1. На основе произведённой оценки стратификации атмосферы и конкретно инверсионных слоёв в нижнем атмо-

сферы по данным температурного профилямера МТР-5 на метеорологической станции Казань-университет, выявлено, что зимний сезон особенно неблагоприятен для рассеивания примесей является в атмосфера города, летний сезон, напротив, благоприятствует рассеиванию.

2. В последнее десятилетия почти вдвое снизилась повторяемость южных ветров, а также небольшое снижение повторяемости северных ветров. Западное же направление ветра остаётся преобладающим. Кроме того, особенно заметно увеличилась повторяемость северо-западных и юго-восточных ветров. В связи с этим:

- аэрация улиц, ориентированных с запада на восток (зонально), а также с северо-запада на юго-восток, усиливается, в связи с ростом повторяемости западных, северо-западных и юго-восточных ветров, что способствует рассеиванию вредных примесей на данных направлениях;

- аэрация улиц, ориентированных с севера на юг, а также с юго-запада на северо-восток уменьшается, что способствует накоплению вредных примесей в воздушной среде на данных направлениях. Следовательно, данную тенденцию стоит учитывать при разработке генерального плана городской застройки и размещения промышленных предприятий.

#### **Библиографический список**

1. Безуглая Э.Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере // Справ. пособие. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 228 с.
2. Переведенцев Ю.П., Хабутдинов Ю.Г., Исмагилов Н.В., Николаев А.А. Качество атмосферного воздуха в центре г. Казани // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2014. – №1. – С. 122-130.
3. Селегей Т.С. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы Сибирского экономического района // Тр. Зап. Сиб. НИИ, 1989 – №86. – С. 84-89.
4. Селегей Т.С., Юрченко И.П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. – 1990. – № 2. – С. 132-137.
5. Мониторинг скорости ветра на водосборе Волги и Урала в XX веке / А.В. Мещерская, М.М. Борисенков // Метеорология и климатология. – 2004. – №3. – С. 83-95.

**SELF-CLEANING FACTORS OF THE KAZAN AIR ENVIRONMENT**

**G.I. Shishkin**, *Postgraduate Student*  
**Kazan (Volga Region) Federal University**  
**(Russia, Kazan)**

**Abstract.** *The assessment of the stratification of the atmosphere was carried out in the work, the conditions for the distribution of isothermal and inversion layers in the lower layer of the atmosphere were revealed according to the data of the temperature profiler MTP-5 at the meteorological station «Kazan-University». In addition, based on the data of observations of wind directions at the meteorological station «Kazan-Opornaya», the change in the wind regime of the city of Kazan for the period 1966-2020 was analyzed. The author's research has not only scientific, but also important applied value.*

**Keywords:** *atmospheric stratification, profile measurements, temperature inversion, wind regime.*