



## ГЕОЭКОЛОГИЯ

Геоэкология / Geoeology

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.3.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-108-120

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. КАЗАНЬ

<sup>1</sup>Юлия Р. Янгличева\*, <sup>2</sup>Гузель Р. Валеева

<sup>1</sup>кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы,  
Институт экологии и природопользования Казанского Федерального  
университета, Казань, Россия, ur-yanglicheva@mail.ru

<sup>2</sup>кафедра прикладной экологии, Институт экологии и природопользования  
Казанского Федерального университета, Казань, Россия

**Резюме. Цель.** В работе проведена комплексная оценка уровня загрязнения атмосферы г. Казань, исследовано влияние метеорологических величин и явлений на формирование уровня загрязнения атмосферы крупного города, изучены ареалы распространения поллютантов, выявлены основные стационарные источники загрязняющих веществ. **Методы.** Статистически обрабатывались данные о температуре воздуха и частоте инверсий, направлениях и скорости ветра, влажности воздуха, осадках и туманах. Использованы результаты систематических наблюдений за загрязнением атмосферы, проводимых Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан (УГМС РТ) за период 2002-2014 гг. на 10 стационарных постах наблюдения. **Результаты.** Полученные в работе результаты имеют важное практическое значение и могут быть использованы при решении проблем управления уровнем загрязнения атмосферы в крупных городах. **Выводы.** Выявлены метеорологические параметры, способствующие загрязнению или самоочищению атмосферы крупного города; установлено, что воздушная среда города имеет ограниченно благоприятную способность к самоочищению в июле и сентябре, во все другие месяцы условия для рассеивания примесей благоприятные; показано, что основной вклад в загрязнение атмосферы города вносят стационарные источники и автотранспорт. В соответствии со значениями КИЗА<sub>5</sub> уровень загрязнения атмосферы г. Казань характеризуется, как «высокий».

**Ключевые слова:** атмосфера, загрязнение, взвешенные вещества, формальдегид, бенз(а)пирен, оксид углерода, оксиды азота, неблагоприятные метеорологические условия, комплексный индекс загрязнения атмосферного воздуха.

**Формат цитирования:** Янгличева Ю.Р., Валеева Г.Р. Закономерности формирования химического состава атмосферы на территории г. Казань // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N2. С.108-120. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-108-120

### LAWS OF FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF THE ATMOSPHERE IN THE TERRITORY OF KAZAN

<sup>1</sup>Yulia R. Yanglicheva\*, <sup>2</sup>Guzel R. Valeeva

<sup>1</sup> Sub-department of Meteorology, Climatology and Ecology of the atmosphere,  
Institute of ecology and environmental management,  
Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia, ur-yanglicheva@mail.ru

<sup>2</sup> Sub-department of Applied Ecology, Institute of ecology and environmental management,  
Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia

**Abstract. Aim.** We made a comprehensive assessment of the pollution level of the atmosphere in Kazan; studied the effect of meteorological variables and phenomena in the formation of the level of pollution of the atmosphere of a big city, studied areas of distribution of pollutants, identified the major stationary sources of pollution. **Methods.** We



statistically processed the data on air temperature, frequency of inversions, wind direction and speed, humidity, precipitation and fog; used the results of systematic observations of atmospheric pollution held by Department for hydrometeorology and environmental monitoring of the Republic of Tatarstan (DTHEM RT) for the period of 2002-2014 on 10 stationary sites. **Results.** Findings of the research are of great practical importance and can be used in solving the problems of atmospheric pollution control in big cities. **Main conclusions.** We identified meteorological parameters that contribute to pollution or self-purification of atmosphere in big cities; established that the air environment of the city has a limited favorable ability to self-cleaning in July and September; in all the other months, conditions for dispersion of impurities are quite favorable. The research shows that the stationary sources and vehicles are the main sources of atmospheric pollution in the city. According to CIAP<sub>5</sub>, the air pollution index in Kazan is determined as high.

**Keywords:** atmosphere, pollution, suspended matter, formaldehyde, benzo(a)pyrene, carbon monoxide, nitrogen oxides, adverse weather conditions, comprehensive index of air pollution.

**For citation:** Yanglicheva Yu.R., Valeeva G.R. Laws of formation of chemical composition of the atmosphere in the territory of Kazan. *South of Russia: ecology, development*. 2016, vol. 11, no. 2, pp. 108-120. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-108-120

## ВВЕДЕНИЕ

Атмосферный воздух – важнейший для всего живого природный ресурс, от качественного состояния которого, в значительной мере, зависит здоровье человека. Интенсивное развитие промышленности, урбанизация, увеличение транспортной нагрузки приводят к изменению газового состава атмосферы, накоплению в ней загрязняющих веществ.

Атмосфера представляет собой равновесную систему, в которой процессы обмена веществ протекают по определенным естественным законам. Поэтому изучение закономерностей формирования химического состава атмосферного воздуха крупных городов и его изменения под влиянием метеорологических и гелиофизических факторов приобретает особую актуальность для решения проблемы управления его качеством.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении влияния метеорологических условий на рассеивание, накопление выбросов промышленных стационарных источников и автотранспорта использовались данные о следующих величинах и явлениях: температура воздуха, инверсии температуры воздуха, направление и скорость ветра, влажность воздуха, осадки и туманы.

Для оценки качества атмосферного воздуха использованы систематические наблюдения за загрязнением атмосферы, проводимые Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан (УГМС РТ) за период 2012 -2014гг. на 10 стационарных постах наблюдения (ПНЗ), расположенных по следующим адресам (рис.1, <http://www.tatarmeteo.ru>):

- ПНЗ № 3: ул. Правобулачная, д. 51;
- ПНЗ № 4: Горьковское шоссе, д. 2;
- ПНЗ № 5: ул. Татарстан, д. 72;
- ПНЗ № 6: ул. Степана Халтурина, д. 10;
- ПНЗ № 7: ул. Декабристов, д. 183;
- ПНЗ № 8: ул. К. Маркса, д. 71, санаторий «Казанский»;

- ПНЗ № 9: ул. Побежимова;
- ПНЗ № 10: пересечение улиц Файзи и Х. Бигичева;
- ПНЗ № 11: ул. Академика Лаврентьева;
- ПНЗ № 15: ул. Дубравная.

Также в Казани функционируют 4 поста автоматизированного контроля (ПКЗ - пост контроля загазованности) Минэкологии РТ, работающие в непрерывном круглосуточном режиме. Считывание информации осуществляется каждые 5 минут, данные за 20 минут усредняются и поступают на центральный диспетчерский пункт (ЦДП) и обновляются через каждые 20 минут со всех постов. Основные анализируемые ингредиенты:

- ПКЗ-1 по ул. Тукая, 109 (на территории предприятия Казанские электросети) анализирует дополнительно ароматические углеводороды, акролеин и установлен для контроля загрязнения атмосферы ОАО «Нэфис-Косметикс»;
- ПКЗ-2 по ул. Павлюхина, 75 (территория Минэкологии РТ) анализирует пре-

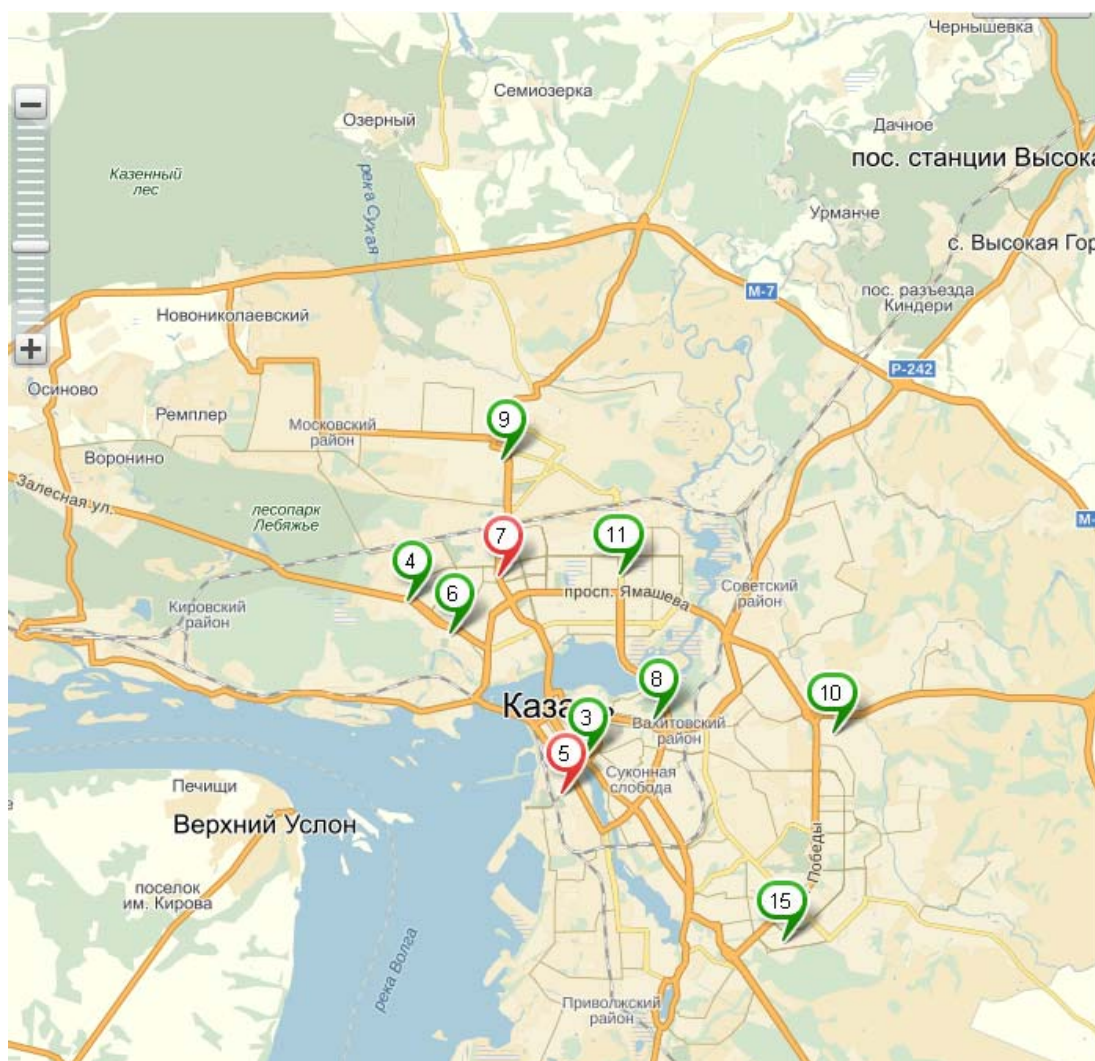
имущественно влияние автотранспорта по ул. Павлюхина;

- ПКЗ-3 по ул. Космонавтов, 59а (справа за зданием Минэкологии РТ) анализирует фоновое загрязнение воздуха;

- ПКЗ-4 по ул. Четаева (на территории водопроводно-насосной станции ВНС МУП «Водоканал») анализирует фоновое загрязнение.

При анализе качества атмосферного воздуха были рассмотрены срочные, ежедневные, месячные и годовые концентрации

таких загрязняющих веществ (ЗВ), как оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, бенз(а)пирен, сероводород, фенол, формальдегид, аммиак и пыль. Полученные результаты использовали в качестве исходного материала для построения карт-схем ареала распространения, исследуемых, загрязняющих веществ, с помощью программы QGIS Desktop 2.8.1, которая является полноценной геоинформационной системой с открытым исходным кодом.



**Рис.1. Карта – схема расположения постов наблюдения в г. Казань**  
**Fig.1. Map of location of stationary sites in Kazan**



## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Уровень загрязнения атмосферы в г. Казань

Концентрация примесей ЗВ в атмосфере очень изменчива во времени и пространстве и зависит не только от хозяйственной деятельности человека, но и от фоновое загрязнения воздуха городов дымом от лесных пожаров и пылью во время суховеев и пыльных бурь.

Для воздуха населенных мест разработан и утвержден перечень ПДК веществ, оказывающих отрицательное воздействие на здоровье человека. Установлены разовые и суточные ПДК примесей в атмосферном воздухе (табл. 1).

Взвешенные вещества – твердые или жидкие частицы, представляющие смесь пыли, сажи, дыма, сульфатов, нитратов и дру-

гих веществ и находящихся во взвешенном состоянии в воздухе. Взвешенные частицы оказывают вредное воздействие на здоровье человека и являются прямой причиной многих респираторно-легочных заболеваний, а также способствуют развитию сердечно-сосудистых заболеваний [1]. В Казани концентрации взвешенных веществ в течение 2002-2013 гг. не превышали значения ПДК<sub>сс</sub>. В период 2002 – 2005 гг. прослеживается тенденция постепенного увеличения концентраций, с 2006 по 2009 гг. средняя годовая концентрация оставалась неизменной – 0,1 мг/м<sup>3</sup>. В период 2010 – 2013 гг. значения концентраций достигли ПДК<sub>сс</sub>, но не превысили их (табл. 1, рис. 2).

**Таблица 1**

**Концентрации загрязняющих веществ (мг/м<sup>3</sup>) в атмосфере г. Казань (2002 – 2013 гг.)**

**Table 1**

**Concentrations of pollutants (mg / m<sup>3</sup>) in the atmosphere, Kazan (2002 - 2013)**

Год Year	Параметры / Indexes											
	Взвешенные вещества Suspended matters		Оксид углерода Carbon monoxide		Диоксид азота Nitrogen dioxide		Диоксид серы Sulphur dioxide		Бенз(а)пирен Benzo(a)pyrene		Формальдегид Formaldehyde	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2002	0,1	1,1	3	16	0,02	0,39	0,001	0,032	2,3	9,4	0,006	0,164
2003	0,1	1,2	4	65	0,05	0,59	0,002	0,037	2,9	6,1	0,009	0,072
2004	0,06	1,3	3	42	0,05	0,48	0,001	0,11	2,6	4,0	0,006	0,036
2005	0,08	1,0	2	15	0,08	0,78	0,001	0,011	2,1	3,5	0,011	0,172
2006	0,1	2,4	2	22	0,06	0,9	0,001	0,03	2,8	3,0	0,012	0,105
2007	0,1	0,1	2	22	0,08	0,97	0,001	0,011	2,7	-	0,006	0,299
2008	0,1	2,2	2	22	0,8	0,99	0,003	0,6	2,1	2,9	0,008	0,569
2009	0,1	1,7	0,8	24	0,09	1,06	0,001	0,02	2,3	-	0,007	0,95
2010	0,15	1,8	0,9	28	0,08	1,10	0,001	0,02	2,4	-	0,009	0,457
2011	0,1	1,8	2	26	0,08	1,13	0,001	0,02	2,2	-	0,008	0,75
2012	0,1	1,9	2	28	0,09	1,15	0,002	0,02	2,3	-	0,012	0,84
2013	0,1	2,3	2	25	0,1	2,4	0,002	0,02	2,6	-	0,014	0,98
ПДК мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>мр</sub>	0,5	5		0,02		0,5		10 <sup>-6</sup>		0,035	
	ПДК <sub>сс</sub>	0,15	3		0,04		0,05		-		0,003	
Класс опасности Hazard class	3		4		3		3		1		2	

**Примечание:** 1 – средняя годовая концентрация; 2 – максимальная разовая концентрация.

**Note:** 1 - average annual concentration; 2 - maximum single concentration.

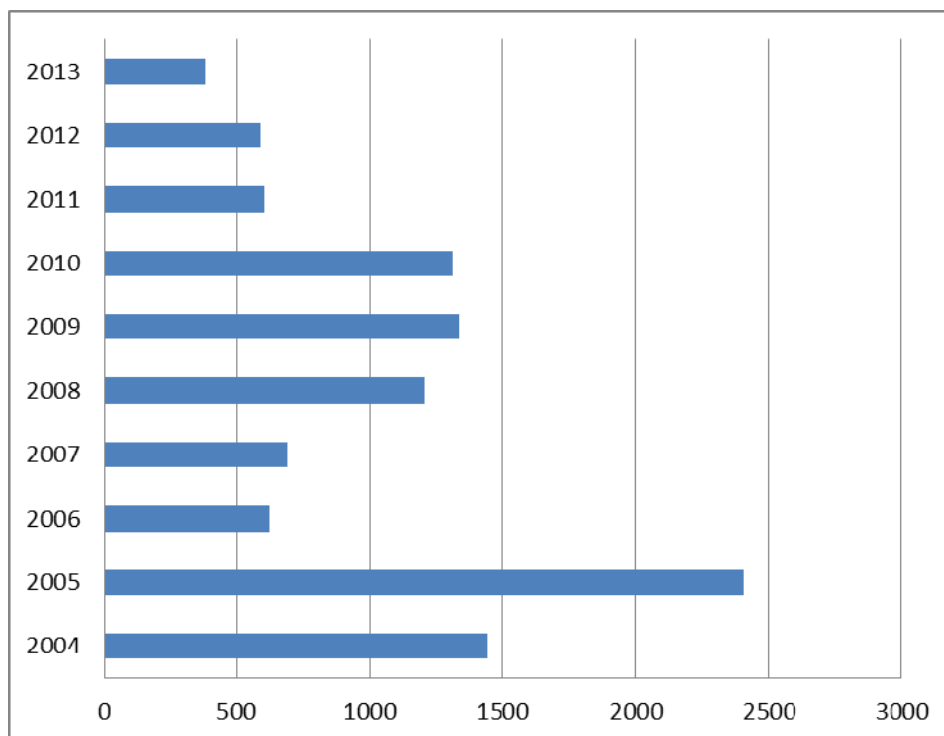
Оксид углерода СО считается клеточным ядом, способным создавать дефицит

кислорода в тканях тела, повышает уровень сахара в крови [1]. Основным источником



поступления СО в атмосферу крупных городов является автотранспорт. В Казани наблюдались наибольшие среднегодовые концентрации СО в сравнении с другими населенными пунктами республики. В дина-

мике прослеживается тенденция к уменьшению концентрации СО в атмосфере города. Так в 2008 году было зафиксировано 144 превышения, в 2009 году - 38, в 2012 - 16, а в 2013 – всего 5 (табл. 1, рис. 2).



**Рис. 2. Динамика общего количества превышений концентраций ЗВ над ПДК по г. Казань**

**Fig. 2. The dynamics of the total number of exceedances of the concentration of pollutants above the maximum permissible concentrations in the Kazan**

Анализ карт-схем, разработанных с помощью QGIS Desktop 2.8.1, позволил выявить наиболее загрязненные по уровню СО участки (рис. 3):

- ПНЗ № 5 (5-кратное превышение ПДК). В данном районе проходят крупные дорожные артерии (ул. Татарстан), вблизи расположено химическое предприятие «Нэфис - Косметикс».

- ПНЗ № 7, ПНЗ №6 и ПНЗ № 4, расположенные вблизи крупных автомагистралей города.

Концентрация диоксида серы в исследуемый период оставалась на одном уровне с возрастанием в 2003, 2008 и 2012 гг.

Анализ карт, полученных с помощью QGIS Desktop 2.8.1, показал, что максимальное значение среднесуточной концентрации ( $0,009 \text{ мг/м}^3$ ) характерно для ПНЗ № 11. Пост находится в Ново-Савиновском районе - крупном спальном районе города; такая

концентрация обусловлена влиянием большого количества мелких котельных с низкими трубами, так как наибольшие значения приходится на отопительный сезон. В целом превышения ПДК по данному веществу не отмечалось.

Ситуация по сероводороду в городе стабильнооднородная, значения находятся в пределах нормы, кроме ПНЗ № 4 - там отмечается превышение по данному веществу в 2014 гг. ( $0,009 \text{ мг/м}^3$  при  $\text{ПДК}=0,008 \text{ мг/м}^3$ ).

Диоксид азота  $\text{NO}_2$  представляет собой один из основных загрязнителей атмосферного воздуха, образующийся в процессе горения при высоких температурах; может приводить как к острым, так и хроническим заболеваниям населения [1]. Наибольшие значения концентрации  $\text{NO}_2$  наблюдались в 2007 – 2011 годах, где средняя годовая концентрация превышала  $\text{ПДК}_{\text{ср}}$  вдвое, с максимумом в 2009 году ( $0,09 \text{ мг/м}^3$ ), причем в



течение данного года было зафиксировано 797 превышений, в 2012 – 380, а в 2013 – уже 81, т.е. наблюдается заметная тенденция к снижению его содержания в воздухе города (табл. 1, рис. 2).

Полученные карты-схемы, свидетельствуют, о том, что  $\text{NO}_2$  преобладает в центральной части города (ПНЗ №№ 3, 5). Наиболее вероятным источником  $\text{NO}_2$  являются двигатели внутреннего сгорания, о чем

свидетельствует большой поток автотранспорта, проходящий через рассматриваемый участок.

Существует годовая изменчивость концентраций формальдегида, бенз(а)пирена, диоксида азота и оксида азота, исходя из которой просматривается тенденция к росту и сохранению высоких концентраций в первом и снижению во втором полугодии (табл. 2).

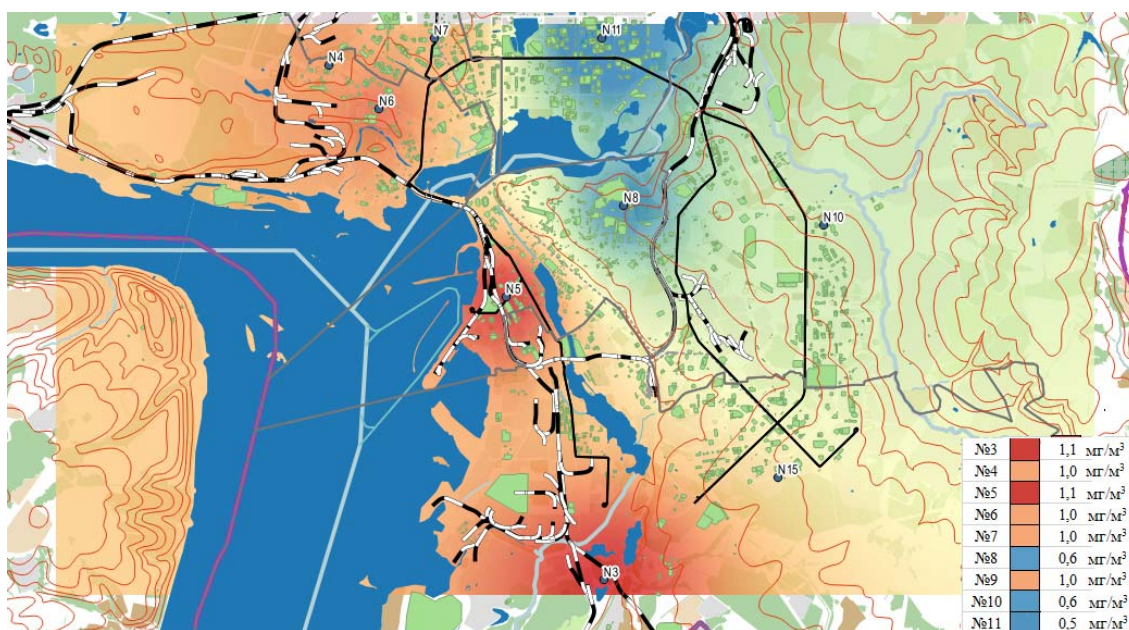


Рис. 3. Распределение CO в атмосфере г. Казани  
Fig. 3. The distribution of CO in the atmosphere of Kazan

Суточный ход концентрации формальдегида в городской атмосфере в летние сухие дни имеет отчетливо выраженные максимумы в 8 утра, в 13 – 14 ч и вечернее время. Осенью повышенные концентрации наблюдаются большую часть суток, с 8 утра до 2 ночи, хотя по абсолютной величине эти максимумы ниже, чем летние. Концентрации формальдегида существенно возрастают вблизи автомагистралей в летние месяцы при высокой интенсивности солнечной радиации [2]. Формальдегид имеет неблагоприятное действие на центральную нервную систему [3]. В Казани за период 2002 – 2013 гг. наблюдался рост уровня загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом, так в 2005 году зафиксировано 94 превышения, в 2006 – 87, 2008 – 70, 2009 – 267, 2012 – 50 и в 2013 – 171 превышение. Высокое содержание данного вещества в атмосфере, говорит о преобладающем влиянии выбросов авто-

транспорта на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха (табл. 1, рис. 2) [4].

Наряду с концентрациями примесей в воздухе, создающимися в районе отдельных объектов, в городе формируется фоновое загрязнение воздуха за счет взаимного наложения и перемешивания выбросов от многих источников. В связи с этим высокие концентрации токсических веществ в воздухе могут отмечаться вне прямого действия отдельных объектов. Фоновое загрязнение воздуха под влиянием метеорологических условий отмечается в целом над всем городом в течение суток, под влиянием погодных условий при постоянных выбросах от предприятий оно то усиливается, то ослабевает. Наибольшее увеличение концентрации токсических веществ наблюдается особенно при двух типах аномальных метеоусловий: безветрии и слабо морозящих осадках, формирующих смог,



а также безветрии в сочетании с высокой температурой воздуха.

Таблица 2

Концентрации примесей (мг/м<sup>3</sup>) в атмосферном воздухе по сезонам

Table 2

Concentrations of impurities (mg / m<sup>3</sup>) in the air. Seasonal

Примесь Impurity	Зима Winter	Весна Spring	Лето Summer	Осень Autumn
<b>Взвешенные вещества</b> Suspended solids	0,06	0,07	0,08	0,07
<b>Диоксид серы</b> Sulphur dioxide	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Оксид углерода</b> Carbon monoxide	2,9	2,8	3,4	3,4
<b>Диоксид азота</b> Nitrogen dioxide	0,03	0,05	0,03	0,03
<b>Оксид азота</b> Nitric oxide	0,0004	0,0005	0,0008	0,0005
<b>Сероводород</b> Hydrogen sulfide	0,01	0,01	0,06	0,004

Для оценки загрязнения атмосферы используются три показателя качества воздуха:

- ИЗА - комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей. Величина ИЗА рассчитывается по среднегодовым концентрациям и характеризует уровень хронического, длительного загрязнения воздуха;
- СИ - стандартный индекс - наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК. СИ определяется по данным наблюдений на посту за одной примесью;
- НП - наибольшая повторяемость (в %) превышения ПДК по отдельной примеси по городу.

В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения считается:

- низким при ИЗА 0-4, НП<10, СИ<1;
- повышенным при ИЗА 5-6, НП 10-19, СИ 1-4;
- высоким при ИЗА 7-13, НП 20-50, СИ 5-10;
- очень высоким при ИЗА≥14, НП>50, СИ>10.

Если значения ИЗА, СИ и НП попадают в разные градации, то степень загрязнения атмосферы оценивается по ИЗА.

Для сравнительной оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха и выявления тенденций его изменения используют

комплексный индекс загрязнения атмосферного воздуха (КИЗА). Для его расчета вычисляют парциальные  $I_i$  и комплексный  $I_n$  (КИЗА) по формуле:

$$I(n) = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_i}{\text{ПДК}_i} \right) C_i \quad (1)$$

где  $q_i$  - средняя концентрация  $i$ -го ЗВ,  $\text{ПДК}_i$  - значение предельно допустимой концентрации  $i$ -го ЗВ,  $C_i$  - безразмерная константа, равная 0,9; 1,0; 1,3 и 1,7 соответственно для 4, 3, 2 и 1 классов опасности ЗВ. Как правило, значение  $I_n$  рассчитывается для  $n=5$ , т.е. для пяти наибольших значений концентрации веществ, определяющих основной вклад в суммарное загрязнение атмосферного воздуха при условии:

$$I_1 > I_2 > I_3 > I_4 > I_5 \quad (2)$$

Использование показателя КИЗА<sub>5</sub> позволяет привести степень загрязнения всех веществ к загрязнению веществом третьего класса опасности - диоксиду серы. Это предположение основано на том, что все загрязняющие вещества на уровне ПДК не оказывают влияния на здоровье человека, а при дальнейшем увеличении концентрации степень их негативного влияния на здоровье возрастает с различной скоростью, которая зависит от класса опасности вещества. Величина КИЗА<sub>5</sub> показывает, какому уровню загрязнения атмосферы (в единицах ПДК диоксида серы) соответствует наблюдаемое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, т.е. во сколько раз уровень



загрязнения атмосферного воздуха превышает допустимое значение.

Уровень загрязнения считается пониженным при значениях  $KИЗА_5 \leq 5$ , повышенным при  $KИЗА_5 = 5-6$ , высоким при  $KИЗА_5 = 7-13$  и очень высоким при  $KИЗА_5 \geq 14$ .

Основываясь на динамике  $KИЗА_5$  в г. Казань (табл. 3), уровень загрязнения возду-

ха можно охарактеризовать как высокий. Минимальные значения  $KИЗА_5$  приходятся на 2002, 2004 и 2011 гг. ( $KИЗА_5 = 8,92-9,43$ ). Максимальное значение уровня загрязнения воздуха в Казани приходится на 2006 год ( $KИЗА_5 = 13,66$ ) [5].

Таблица 3

Показатели загрязнения атмосферного воздуха за период 2002 – 2013 гг. [5]

Table 3

Indicators of air pollution for the period of 2002 - 2013 [5]

Год Year	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
$KИЗА_5$ $СИАР_{5,}$	8,92	12,75	9,43	11,84	13,66	10,75	10,92	10,2	12	9,3	11,8	10,6

Наиболее высокий уровень загрязнения атмосферы основными примесями за период наблюдений отмечен на ПНЗ №7 - ул. Декабристов 183. Пост расположен на ровном участке, окруженном зданиями, с интенсивным движением автотранспорта. Высокий уровень загрязнения можно объяснить не только влиянием транспортного потока, но и близким расположением таких крупных предприятий как завод «Казаньоргсинтез», ТЭЦ – 2 и ТЭЦ - 3, ОАО «Казанский вертолетный завод». Ежегодно на данном участке фиксируются превышения по взвешенным веществам,  $CO$ ,  $NO_2$ , пыли органической и неорганической, а кроме того обнаруживаются такие специфические вещества, как ксилол, толуол, бензол, этилбензол с максимумом концентрации в июле, тетрахлорметан в период с мая по июль с пиком в июле, ацетон.

Также ухудшилось качество воздушного бассейна на участке ПНЗ № 5, здесь наблюдаются такие вещества, как хлорформ, тетрахлометан, ксилол, ацетон. Данный пост располагается в низменной части города с интенсивным движением транспорта на пересечении улиц Татарстан и Тинчурина, непосредственное влияние также оказывает ОАО «Нэфис – косметикс» - крупнейший отечественный производитель товаров бытовой химии. Отмечаются высокие концентрации взвешенных веществ,  $SO_2$  и  $CO$ .

Построенные карты-схемы, по одному из специфических веществ, а именно фенолу, показывают его ежегодную изменчивость по ареалу распространения. Можно отметить его накопление в районе ПНЗ № 10. Данный пост находится в Советском районе города, который на данный момент является наиболее интенсивно застраиваемым. Фенол используется при изготовлении пластмассы, при утепление домов на строительных площадках или при изготовлении специальных расходных материалов. Кроме того, высокие концентрации фенола нередко можно зафиксировать в воздухе квартир, особенно если это новостройки, так как основная масса современной техники, мебели и даже отделочных материалов включает в себя ряд высокотоксичных материалов, являющихся источником данного ЗВ.

Высокие максимальные и среднегодовые концентрации специфических загрязняющих веществ показывают, что в последние годы они вносят все больший вклад в загрязнение атмосферного воздуха города, доля же основных загрязняющих веществ уменьшается: бенз(а)пирен – 47 %, формальдегид – 23%, оксид углерода – 9%, диоксид азота - 13 %, оксида азота – 8%. Вклад бенз(а)пирена и формальдегида в  $KИЗА_5$  составляет 70 %, что говорит о преобладающем влиянии автотранспорта на формирование уровня загрязнения атмосферного воздуха.





### Воздействие физико-географических и метеорологических факторов на уровень загрязнения атмосферного воздуха

Многочисленные исследования связи между метеорологическими условиями местности и уровнем загрязнения воздуха показывают, что степень и интенсивность загрязнения зависит от особенностей циркуляционных процессов рассматриваемой территории, температуры стратификации атмосферы, осадков, туманов, рельефа подстилающей поверхности, солнечной радиации, трансграничного переноса примесей, состояния и площади зеленых насаждений и от многих других факторов [5]. Скорость ветра – основной показатель горизонтального переноса примесей. Воздушный поток, подходя к городу и встречая на своем пути препятствие, меняет не только направление движения, но и замедляет скорость. Обычно скорость ветра в городах значительно ниже, чем на окраинах, в среднем на 25 - 30 %, а в местах плотной застройки она уменьшается значительно [6].

Зависимость уровня загрязнения атмосферного воздуха от скорости ветра определяется высотой источника выброса. При выбросах из высоких труб максимальные концентрации примеси у земли наблюдаются при опасной скорости ветра. При малых ветрах увеличивается эффективный подъем факела, и концентрации ЗВ у земли снижаются. В случаях выбросов из низких и неорганизованных источников увеличение концентрации примесей наблюдаются при слабых ветрах за счет накопления в приземном слое атмосферы [7]. Низких и неорганизованных источников опасными являются скорости ветра 0 – 1 м/с, при которых концентрации примесей в приземном слое на 30 – 70 % выше, чем при больших скоростях. Для высоких источников опасными являются скорости ветра 4 – 5 м/с. Направление и скорость ветра являются важными факторами формирования уровня загрязнения города [7]. По данным метеорологической станции Казань, опорная, на высоте 12,5 м от земли в среднем за год преобладают южные ветры, несколько реже наблюдаются юго – восточные и западные. Максимум повторяемости штилей приходится на летние месяцы (июль, август) ночью они наблюдаются чаще, чем днем. Наибольшие скорости характерны для преобладающих направлений ветра – зимой

для южных и юго – восточных, летом для северных и северо – западных (рис. 1).

Своеобразие климата города Казани состоит в существовании мезомасштабных различий метеорологического режима между отдельными районами города. Мезоклиматические различия определяются следующими причинами: типом подстилающей поверхности, характером застройки, неравномерностью источников тепловых выбросов и эмиссии ЗВ.

В городе существует два основных очага повышенных значений температуры: на возвышенной части Вахитовского района и в центральных кварталах Московского и Кировского районов. В зависимости от сезона, времени суток и типа погоды температура воздуха в этих очагах тепла может превышать температуру воздуха других районов города на 3-4 °С и более. Широкий залив в устье р. Казанки делит городской остров тепла на два указанных основных очага тепла. Сама долина р. Казанки и выходящие к ней кварталы Московского и Ново-Савиновского районов располагаются в очаге холода. Наибольшие контрасты температуры воздуха между очагами тепла и холода (до 4-5 °С) наблюдаются в ранние утренние часы зимой и летом при ясной погоде.

При исследовании зависимости уровня загрязнения атмосферы от метеорологических факторов целесообразно использовать не только отдельные метеорологические величины и явления, но и комплексные характеристики, которые соответствуют определенной погодной ситуации. В настоящее время в качестве таких комплексных характеристик используется потенциал загрязнения атмосферы, разработанный в ГГО им. Воейкова Э.Ю. Безуглой [8], и метеорологический потенциал атмосферы, предложенный Т.С. Селегей [9]. Метод Э.Ю. Безуглой позволяет выразить рассеивающую способность атмосферного воздуха через показатель возможного уровня загрязнения атмосферы (ПЗА). ПЗА показывает, во сколько раз средний уровень загрязнения атмосферного воздуха в конкретном районе будет выше, чем в условном, при реальной повторяемости метеорологических элементов. Э.Ю. Безуглой проведено районирование территории бывшего СССР и выделено пять



зон, которые характеризуются различными значениями ПЗА (табл. 4).

Также для оценки экологического состояния атмосферы анализируется динамика

изменчивости метеорологического потенциала атмосферы (МПА), разработанного Т.С. Селегей [10].

Таблица 4

Критерии, характеризующие потенциал загрязнения атмосферного воздуха

Table 4

Criteria for characteristic the potential of air pollution

Зона Zone	Характеристика ПЗА Characteristics of IAP (indicator of air pollution)	Значение ПЗА The value of IAP
1	Низкий Low	1,8-2,4
2	Умеренный Moderate	2,4 - 2,7
3	Повышенный Increase	2,7 - 3,0
4	Высокий High	3,0 - 3,3
5	Очень высокий Very high	3,3 - 4,0

МПА определяется как отношение повторяемости условий, способствующих накоплению примесей (слабых ветров и туманов) к повторяемости условий, содействующих в свою очередь удалению примесей (сильных ветров и осадков):

$$\text{МПА} = (P_{\text{сл}} + P_{\text{тум}}) / (P_{\text{сил}} + P_{\text{ос}}),$$

где  $P$  – повторяемость, %;  $P_{\text{сл}}$  – повторяемость слабого ветра (0-1 м/с);  $P_{\text{сил}}$  – повторяемость скорости ветра  $> 6$  м/с;  $P_{\text{тум}}$  – повторяемость туманов;  $P_{\text{ос}}$  – повторяемость осадков  $> 1$  мм.

Ю.В. Русанов [11] выделил 4 типа МПА: 1)  $< 0,8$  – в атмосфере преобладают процессы, способствующие рассеиванию вредных примесей; 2) от 0,8 до 1,0 и 3) от 1,0 до 1,2 – здесь с одинаковой частотой могут происходить процессы, обуславливающие как рассеивание, так и накопление примесей; 4)  $> 1,2$  – Преобладают процессы, способствующие накоплению вредных примесей.

Также предлагается рассчитывать коэффициент самоочищения атмосферы  $K$ , обратный МПА:  $K = 1/\text{МПА}$ . При этом авторы выделяют пять групп  $K$ : при  $K > 1,25$  создаются благоприятные условия для рассеивания атмосферы, при  $1,25 \geq K > 0,8$  – относительно благоприятные, при  $0,8 \geq K > 0,4$  – относительно неблагоприятные, при  $0,4$

$\geq K \geq 0,25$  неблагоприятные и при  $K \leq 0,25$  – крайне неблагоприятные.

ПЗА широко используется для оценки влияния комплекса метеорологических величин и явлений на рассеивание выбросов загрязняющих веществ в атмосфере. Анализ годового хода осредненного ПЗА для г. Казань за период 2002 - 2013 года показывает, что низкие значения (ПЗА) отмечались в январе (2,4), феврале (2,1), марте (2,4) и ноябре (2,3), умеренные значения ПЗА, равные 2,6 наблюдаются в апреле, мае и октябре.

Низкие значения ПЗА были отмечены в 2002 году - в январе, марте, ноябре, в 2003 году - в январе, феврале, апреле, мае, августе, октябре (2,4) и в ноябре, декабре (1,9).

Годовой ход коэффициента самоочищения  $K$  позволяет выявить сезонные особенности накопления и рассеивания примесей. Благоприятные условия для их рассеивания наблюдаются в январе – марте, мае – июне, октябре – декабре ( $K = 1,2 - 2,0$ ). Как известно, наиболее благоприятные метеорологические условия для рассеивания выбросов загрязняющих веществ наблюдаются при активной циклонической деятельности, сопровождающейся высокой повторяемостью выпадения атмосферных осадков и сильными ветрами. Наименьшие значения потенциала самоочищения атмосферы от-



мечены в апреле, июле – августе ( $K = 0,7-0,9$ ). Неблагоприятные условия для самоочищения атмосферного воздуха отмечаются в антициклонах, где часто развиваются застойные ситуации, определяющие штили, скорости ветра до 1 м/с, туманы. В качестве показателя, характеризующего физическое, химическое и другие виды воздействия на окружающую среду, принята концентрация загрязняющего вещества. Загрязнение воздуха определено по значениям средних и максимальных разовых концентраций примесей. Степень загрязнения оценена путем сравнения фактических концентраций с предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

Анализ годового хода повторяемости метеорологических величин, характеризующих коэффициент накопления примесей, коэффициент самоочищения атмосферы и потенциал загрязнения атмосферы, помогает оценить вклад метеорологических параметров, способствующих загрязнению или самоочищению атмосферы. Высокие уровни загрязнения отмечаются при слабых ветрах и штилях, максимальная повторяемость, которых приходится на летние месяцы и начало осени и при туманах, наибольшая повторяемость в начале весны и осени. Уменьшение концентрации вредных веществ в атмосфере способствует увеличению скорости ветра до 6 м/с и более, их максимум повторяемости отмечается в конце осени, в зимний период и весной и наличие интенсивных осадков более 1 мм, максимум приходится на летний период.

Осредненный коэффициент самоочищения атмосферы имеет наибольшее значение в марте – 0,89, июле – 1,10 и сентябре – 1,05. В утренние часы городская атмосфера имеет наиболее благоприятные условия накопления примесей в атмосфере, а в 18 ч – менее благоприятные. Основной вклад в значение коэффициента  $K$  вносит большая повторяемость слабых ветров и туманов, а также малая повторяемость слабых ветров и туманов и малая повторяемость сильных ветров и осадков. На основании

определения коэффициента самоочищения установлено, что воздушная среда города имеет ограниченно благоприятную способность к самоочищению в июле ( $K=1,25$ ) и в сентябре ( $K=1,22$ ), а во все другие месяцы условия для рассеивания примесей благоприятные. Низкие значения осредненного значения потенциала загрязнения атмосферы отмечались в январе, феврале, марте от 2,4 – 2,7. Низкие значения потенциала загрязнения воздуха, говорят о преобладании метеорологических процессов, способствующих рассеиванию выбросов в приземном слое атмосферы.

В последние годы наблюдается тенденция роста коэффициента самоочищения атмосферы от 0,75 в 2001 г. до 1,01 в 2008 г. Это означает, что с каждым годом метеорологические условия становятся все менее благоприятными для рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, увеличивается число дней со слабым ветрами и туманами, уменьшается количество дней с сильными ветрами и осадками.

Прослеживая тенденцию изменения количества превышений за период 2002 – 2013 гг., можно сделать следующие выводы: наибольшее количество отмечено в 2005 гг. (2406) что можно связать с большим числом дней с неблагоприятными метеоусловиями (112) для рассеивания примесей, отмечалось высокое содержание формальдегида и бенз(а)пирена (рис. 2). С 2008 года прослеживается тенденция увеличения количество превышений в среднем в 1,5 раза. Стоит отметить также 2010 год, т.к. именно в этот период было зафиксировано максимальное количество превышений 5ПДК<sub>м.р.</sub>. В течение 2010 г. в г. Казани было зафиксировано 1311 случаев превышения ПДК<sub>м.р.</sub>, в т.ч. 20 случаев превышений 5 ПДК<sub>м.р.</sub>, из них: по взвешенным веществам – 160 превышений, по оксиду углерода – 50 превышений, по диоксиду азота – 620 превышений, по аммиаку – 161 превышение, по формальдегиду – 320 превышений, в это год было отмечено 80 дней с неблагоприятными метеоусловиями для рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе.

## ВЫВОДЫ

1. Динамика КИЗА<sub>5</sub> в 2002-2013 гг. показывает, что уровень загрязнения воздуха в г. Казань можно охарактеризовать как вы-

сокий. Минимальные значения индекса приходятся на 2002, 2004 и 2011 гг. (КИЗА<sub>5</sub> = 8,92-9,43), максимальный уровень загрязне-



ния воздуха в Казани за изученный период приходится на 2006 год ( $KI3A_5=13,66$ ).

2. Основной вклад в загрязнение атмосферы г. Казань вносят выбросы от стационарных источников и автотранспорта. Главными стационарными источниками загрязнения атмосферы города являются завод Казаньоргсинтез, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, «Казанский государственный пороховой завод», ОАО «Казанский завод синтетического каучука», ОАО «Казанский моторостроительное ПО», ОАО «Казанский вертолетный завод», МУП ПО «Казэнерго», ОАО «Татнефть», ОАО «Нэфис – косметикс». Преобладающее влияние автотранспорта на уровень загрязнения атмосферы города подтверждает анализ карты – схемы распространения  $CO$ , построенной с помощью ПО QGIS Desktop 2.8.1.

3. Высокий уровень загрязнения атмосферы в г. Казань отмечается при слабых ветрах и штилях, максимальная повторяемость которых приходится на летние месяцы и начало осени, а также при туманах с наибольшей повторяемостью в начале весны

и осени. Уменьшению концентрации вредных веществ в атмосфере способствует увеличение скорости ветра до 6 м/с и более и наличие интенсивных осадков более 1 мм.

4. Осредненный коэффициент самоочищения атмосферы для г. Казань имеет наибольшее значение в марте, июле и сентябре – 0,89, 1,10 и 1,05 соответственно. В утренние часы городская атмосфера имеет наиболее благоприятные условия накопления примесей в атмосфере, а к 18 ч – менее благоприятные. Основным вклад в высокое значение  $K$  вносит большая повторяемость слабых ветров и туманов, малая повторяемость слабых ветров и туманов, а также сильных ветров и осадков. На основании определения коэффициента самоочищения установлено, что воздушная среда города имеет ограниченно благоприятные способности к самоочищению в июле (1,25) и в сентябре (1,22), в другие месяцы условия для рассеивания примесей благоприятные. Низкие значения осредненного значения потенциала загрязнения атмосферы отмечаются в период с января по март (2,4 – 2,7).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельниченко П.И., Архангельский В.И., Козлова Т.А. Гигиена с основами экологии человека: Учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 752 с.
2. Переведенцев Ю.П. Влияние природных и антропогенных факторов на качество атмосферного воздуха города Казани // Динамика и взаимодействие природных и социальных сфер земли. Тезисы докладов научной конференции. Казань, 1998. С. 62–64.
3. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России. М.: Финансы и статистика, 1995. 528 с.
4. Переведенцев Ю.П. Природно – климатические ресурсы и загрязнение атмосферы. Казань: Изд-во Казанского университета, 2008. 109 с.
5. Состояние окружающей природной среды республики Татарстан в 2002-2013 гг. Государственный доклад. Казань, 2003-2014. URL: <http://eco.tatarstan.ru/gosdoklad.htm> (дата обращения: 25.02.2016)
6. Безуглая Э.Ю., Сонькин Л.П. Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха в городах

- Советского Союза // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. С. 241-252.
7. Сонин Г.В., Зиганшин И.И. Мониторинг атмосферных осадков холодного периода и снегового покрова в г. Казани экспресс – методами // Современная география и окружающая среда: Сборник статей. Казань, 1996. С. 146-148.
8. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 189 с.
9. Селегей Т.С., Юрченко И.П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. 1990. N2. С. 132-137.
10. Рекомендации по определению метеорологического потенциала атмосферы Сибирского экономического района / Ответст. исполнитель Т.С. Селегей. Новосибирск, 1987. 132 с.
11. Русанов В.В. Метеорологические условия загрязнения атмосферы над Томской областью // География и природные ресурсы. 1992. N1. С. 60-65.

#### REFERENCES

1. Melnichenko P.I., Arhangelsky V.I., Kozlova T.A. *Gigiyena s osnovami ekologii cheloveka* [Hygiene with human ecology foundations: Textbook]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2010, 752 p. (In Russian)

2. Perevedentsev Yu.P. *Vliyaniye prirodnkh i antropogennykh faktorov na kachestvo atmosfernogo vozdukha goroda Kazani* [Nature and anthropogenous factors influence on Kazan city atmosphere quality]. *Dinamika i vzaimodeystviye prirodnkh i sotsialnykh sfer zemli*.





*Tezisy докладov nauchnoy konferentsii* [Nature and social spheres of Earth dynamics and interaction. Reports thesis of science conference]. Kazan, 1998, pp. 62-64. (In Russian)

3. Protasov V.Ph., Molchanov A.V. *Ekologiya, zdorovye i prirodopolzovaniye v Rossii* [Ecology, health and environmental management in Russia]. Moscow, Finances and statistics Publ., 1995, 528 p. (In Russian)

4. Perevedentsev Yu.P. *Prirodno – klimaticheskiye resursy i zagryazneniye atmosfery* [Nature and climatic resources and atmosphere pollution]. Kazan, Kazan University Publ., 2008, 109 p. (In Russian)

5. *Sostoyaniye okruzhayushchey prirodnoy sredy respubliki Tatarstan v 2002-2013 gg.* [Environmental state in Tatarstan republic in 2002-2013]. Gosudarstvennyy doklad [State report]. Kazan, 2003-2014. (In Russian) Available at: <http://eco.tatarstan.ru/gosdoklad.htm> (accessed 25.02.2016)

6. Bezuglaya E.Yu., Sonkin L.R. *Vliyaniye meteorologicheskikh usloviy na zagryazneniye vozdukh v gorodakh Sovetskogo Soyuza* [Meteorological conditions influence on Soviet Union cities air pollution]. *Meteorologicheskiye aspekty zagryazneniya atmosfery* [Meteorological aspects of atmosphere pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1971, pp. 241-252. (In Russian)

7. Sonin G.V., Ziganshin I.I. *Monitoring atmosferykh osadkov kholodnogo perioda i snegovogo pokrova v g. Kazani ekspress – metodami* [Atmosphere precipitation by cold period and snow cover monitoring in Kazan city with use of express-methods]. *Sovremennaya geografiya i okruzhayushchaya sreda. Sbornik statey* [Modern geography and environment. Collection of articles]. Kazan, 1996, pp. 146-148. (In Russian)

8. Bezyglaya E.Yu. *Monitoring sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh* [Atmosphere pollution monitoring in cities]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 189 p. (In Russian)

9. Selegey T.S., Yurchenko I.P. *Disseminate ability potential of atmosphere. Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and environmental resources]. 1990, no. 2, pp. 132-137. (In Russian)

10. *Rekomendatsii po opredeleniyu meteorologicheskogo potentsiala atmosfery Sibirskogo ekonomicheskogo rayona* [Siberia economical region atmosphere meteorological potential definition recommendations]. Novosibirsk, 1987, 132 p. (In Russian)

11. Rusanov V.V. *Atmosphere pollution meteorological conditions over Tomsk region. Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and environmental resources]. 1992. no. 1. pp. 60-65. (In Russian)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

##### Принадлежность к организации

**Юлия Р. Янгличева\*** – аспирант кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Институт экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета, тел. +7(843) 264-41-63, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008 Россия, e-mail: [ur-yanglicheva@mail.ru](mailto:ur-yanglicheva@mail.ru)

**Гузель Р. Валеева** – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладной экологии, Институт экологии и природопользования Казанского (Федерального) университета, Казань, Россия.

##### Критерии авторства

Юлия Р. Янгличева собрала статистический материал, обобщила и проанализировала данные, представила графический материалы. Гузель Р. Валеева обработала статистический материал, сформулировала выводы, написала рукопись и несет ответственность за плагиат.

##### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.03.2016

Принята в печать 13.04.2016

#### AUTHOR INFORMATION

##### Affiliations

**Yulia R. Yanglicheva\*** – postgraduate student of the sub-department of meteorology, climatology and ecology of the atmosphere, Department of Ecology and Nature Management of Kazan (Privolzhskiy) Federal University, 18 Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia. ph. +7(843) 264-41-63, e-mail: [ur-yanglicheva@mail.ru](mailto:ur-yanglicheva@mail.ru)

**Guzel R. Valeeva** – candidate of chemical sciences, Associate professor at the Sub-department of Applied Ecology, Department of Ecology and Nature Management of Kazan (Federal) University, Kazan, Russia.

##### Contribution

Yulia R. Yanglicheva collected statistical data; compiled and analyzed the data; provided graphic materials. Guzel R. Valeeva processed statistical data; worked on conclusions; wrote the manuscript and is responsible for avoiding the plagiarism.

##### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.03.2016

Accepted for publication 13.04.2016