

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА ВЛАДИВОСТОКА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ БОЛЕЗНЕЙ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Людмила Васильевна ВЕРЕМЧУК¹, Вера Иннокентьевна ЯНЬКОВА¹,
Татьяна Исааковна ВИТКИНА¹, Людмила Сергеевна БАРСКОВА¹,
Кирилл Сергеевич ГОЛОХВАСТ^{1,2}

¹ Владивостокский филиал ФГБНУ Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания – НИИ медицинской климатологии и восстановительного лечения 690105, г. Владивосток, ул. Русская, 73-г

² ФГАОУ Дальневосточный федеральный университет Минобрнауки РФ 690990, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

Цель исследования – изучение вклада техногенных и природных факторов в формирование качества атмосферного воздуха и его влияния на распространение болезней органов дыхания. Материал и методы. Использовали данные статотчетности по форме № 12 и мониторинга Федеральной службы, доклады о состоянии природной среды, косвенные показатели. Исследовали аэрозольные микровзвеси. Результаты и их обсуждение. Качество атмосферы формируется за счет общего загрязнения городской среды и особенностей муссонного климата. Вклад техногенного загрязнения воздуха в распространение болезней органов дыхания – 18,6 %. Высокотоксичные микровзвеси могут способствовать росту уровня бронхолегочной заболеваемости.

Ключевые слова: оценка качества атмосферного воздуха, климатические факторы, микровзвеси атмосферного воздуха, болезни органов дыхания.

Возрастание экологической зависимости болезней органов дыхания (БОД) в значительной степени связано с высоким объемом техногенного загрязнения атмосферного воздуха. Все процессы окружающей среды являются элементами функционирования целостных систем (загрязнение почв, воды, биоты; климатические условия; характер рельефа и т. д.), в результате взаимодействия которых формируется качественное состояние воздушного бассейна. В настоящее время, в связи с возможностью выделения новых классов токсикантов – нано- и микроразмерных частиц, исследования загрязнения атмосферного воздуха перешли на качественно новый уровень. Микро-частицы обладают высокой токсичностью и спо-

собностью проникать в неизменном виде через клеточные барьеры, циркулировать и накапливаться в органах и тканях, вызывая выраженные патоморфологические поражения органов дыхания, при этом они крайне тяжело выводятся из организма [9, 10]. В связи с вышеперечисленным, необходима детальная структуризация техногенных загрязнителей воздуха с выделением системных «ключевых» структур и позиций, отвечающих за формирование качественного состояния атмосферы города.

Целью работы являлось изучение вклада техногенных и природных факторов в формирование качества атмосферного воздуха и его влияния на распространение БОД у жителей г. Владивостока.

Веремчук Л.В. – д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов, e-mail: veretchnik_lv@mail.ru

Янькова В.И. – к.б.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов, e-mail: jankova_nch@list.ru

Виткина Т.И. – д.б.н., зав. лабораторией медицинской экологии и рекреационных ресурсов, e-mail: tash30@mail.ru

Барскова Л.С. – младший научный сотрудник лаборатории медицинской экологии и рекреационных ресурсов, e-mail: vfdnz_nch@mail.ru

Голохваст К.С. – к.б.н., старший научный сотрудник, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере Инженерной школы, e-mail: drooru@mail.ru

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для изучения качества атмосферного воздуха использовались данные мониторинга Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Приморское УГМС). Учитывались фактические климатические показатели и предшествующие метеорологические данные (месячные и сезонные параметры температуры воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление, точка росы и др.). Предшествующие климатические параметры оказывают влияние на качественное состояние атмосферы города, что в той или иной мере формирует ответную реакцию всего организма человека и органов дыхания в частности.

Оценка загрязнения атмосферы города Владивостока проводилась по данным шести стационарных постов наблюдения (взвешенные вещества, диоксид азота и серы, оксид углерода, аммиак, формальдегид и др., мг/м³) за период 2008–2014 гг. Использовались данные разового отбора проб в различных районах города, проводимые ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Приморского края» [1, 6, 7]. Общее экологическое состояние городской среды оценивалось согласно ежегодным докладом о состоянии окружающей природной среды Приморского края [3]. Помимо многолетних данных мониторинга, использовались косвенные показатели (плотность автомобильных дорог, характер застройки территории, суммарный показатель загрязнения почв (СПЗ) и др.), опосредованно влияющие на загрязнение воздуха, характеризующие фоновое загрязнение от множества источников. Был использован интегральный показатель, учитывающий соотношение неблагоприятного и благоприятного влияния на человека техногенного загрязнения и природной среды [4].

Проведены работы по изучению аэрозольных взвесей твердых частиц, которые собирались в виде атмосферных осадков (снег) и проб воздуха. Снег собирался в моменты снегопада в 14 районах города с разным уровнем техногенной нагрузки. Талую воду исследовали на лазерном анализаторе частиц Analysette 22 NanoTec plus (Германия), устанавливающим распределение частиц по размерам и формам [2]. Определение размерности твердых взвешенных частиц, содержащихся в приземном слое атмосферы, проводили методом лазерной гранулометрии с предварительной аспирацией заданного объема воздуха в жидкую среду [8]. Твердые взвешенные частицы разной размерности оценивали не только по размерному ряду, но и по сорбции ими токсичных тяжелых металлов [2].

Показатели общей заболеваемости БОД по районам с различным уровнем техногенного загрязнения атмосферы рассчитывали по данным формы федерального статистического наблюдения № 12 восьми взрослых и семи детских муниципальных поликлиник города Владивостока (2011–2013 гг.). При расчете учитывались все случаи острых заболеваний и первое обращение по поводу обострения хронического заболевания (на 100 000 населения).

Математико-статистическая обработка сформированной базы данных (2008–2014 гг.) выполнялась с использованием модулей программы STATISTICA 8 (канонический анализ, множественная корреляция, ранговая корреляция Спирмена) и вероятностного метода информационно-энтропийного анализа [4]. Канонический анализ позволил определить межсистемные зависимости (R) между группами показателей. С помощью модуля «множественная корреляция» оценивались парные связи (r) по отдельным компонентам системы. Информационно-энтропийный анализ выделил «полезную» информацию, отражающую трендовую зависимость между уровнем заболеваемости БОД и загрязнением атмосферы и выраженную показателем относительной энтропии ($R_{\text{отн}}$, %). Необходимость определения трендовой зависимости продиктована наличием влияния множества латентных причин, вызывающих сложность и неопределенность изучения механизма в распространении заболеваний органов дыхания [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Город Владивосток расположен на юге Приморского края и занимает полуостровную часть береговой линии Японского моря. Климат города относится к муссонному типу с сезонной циркуляцией атмосферы (летом – ветра южных направлений, зимой – северных). Летний сезон характеризуется обилием осадков (дождь, морось, туман), в зимний период они незначительны. Влияние моря обуславливает преобладание числа дней с повышенной и высокой влажностью воздуха (летом до 100 %) и снижением температурных градиентов в течение всего года. Пересеченный возвышенный рельеф города создает локальные участки ветрового затишья и воздушных «труб» с сильными ветрами. Климатические особенности во многом определяют степень самоочищения атмосферы города.

В г. Владивостоке основным источником загрязнения воздуха являются выбросы автомобильного транспорта. По числу автомобилей г. Владивосток занимает первое место в России –

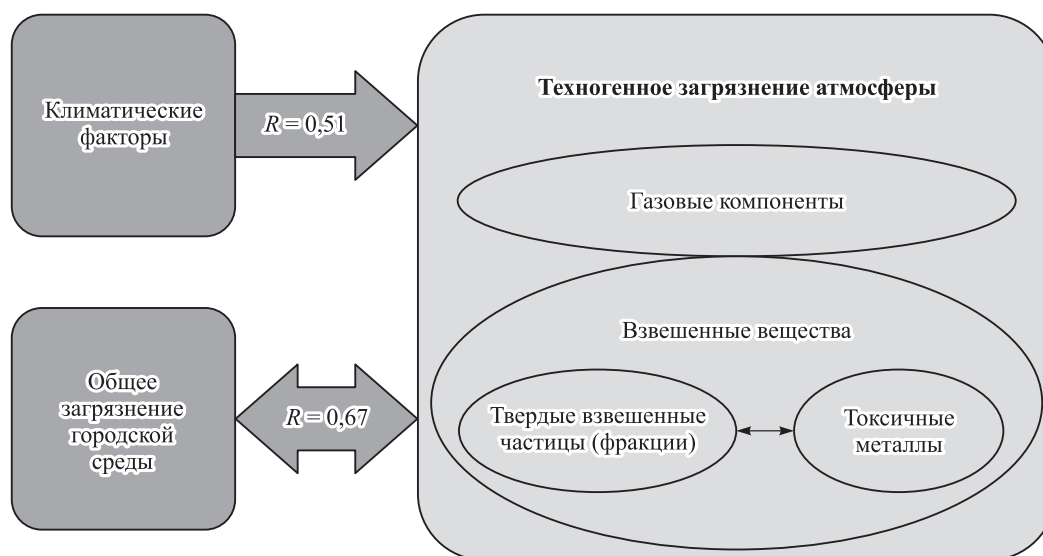


Рис. Системное формирование загрязнения атмосферного воздуха г. Владивостока

более 600 машин на 1000 жителей. Автомобильный парк города в основном изношенный (80 % автомобилей с возрастом более 10 лет). При сложном пересеченном рельефе города многие автомобильные дороги имеют неудовлетворительное техническое состояние, что также способствует формированию напряженной экологической ситуации. Второе место по загрязнению воздуха в городе занимают выбросы 5 тепловых станций и 200 котельных разной производительности с 25–30-летней эксплуатацией технологического оборудования, работающего преимущественно на бурых и каменных углях, мазуте, дизельном топливе, только единичные из них используют газ [6].

Показатели, характеризующие качественное состояние природно-экологической среды города, были систематизированы в отдельные блок-системы: климатические факторы, общее загрязнение городской среды, техногенное загрязнение атмосферы (рисунок). Система «техногенное загрязнение атмосферы» была разделена на две подсистемы: газовые компоненты (диоксиды азота и серы, оксиды азота и углерода, аммиак, формальдегид и др.) и взвешенные вещества (твердые взвешенные частицы по фракциям и токсичные металлы) (см. рисунок).

Проведенный канонический анализ списков переменных (блок-системы) установил зависимость между системой «техногенное загрязнение атмосферы» и системами «общее загрязнение городской среды» и «климатические факторы». В результате анализа выявлено, что определяющую роль в формировании качества атмосферного воздуха играет система «общее загрязнение

городской среды», определяющая фоновое состояние окружающей среды под влиянием многолетних выбросов множества порой неучтенных городских источников загрязнения (см. рисунок).

Для выделения доминирующих факторов воздействия проведен корреляционный анализ, оценивающий парные зависимости между показателями разных систем (общее загрязнение городской среды и техногенное загрязнение атмосферы). По его результатам выявлена значимая и высоко значимая ($p < 0,05$ и $p < 0,01$) связь 17 компонентов техногенного загрязнения атмосферы и 6 показателей общего загрязнения городской среды (табл. 1).

Проведенные расчеты показали, что наибольшее влияние на качество городского воздуха оказывает автомобильный транспорт (показатель «плотность автомобильных дорог»), в меньшей степени выражено влияние «интегрального показателя» и «СПЗ» (см. табл. 1). Итоговое влияние «характера селитебной застройки» ниже, однако локальные участки сильного загрязнения воздуха для города характерны.

Анализ парных связей показывает зависимость между газовыми компонентами системы «техногенное загрязнение атмосферы» и системами «промышленные выбросы...» (формальдегид) и «характер селитебной застройки» (окись углерода) (см. табл. 1). Содержание оксида углерода в воздухе также зависит от автомобильного транспорта. Установлено менее активное влияние показателя СПЗ на содержание диоксида азота, формальдегида и оксида углерода в воздухе, что можно объяснить наличием латентных сопутствующих процессов поступления этих газов из

Таблица 1

Зависимость (r) между показателями систем «общее загрязнение городской среды» и «техногенное загрязнение атмосферы»

«Техногенное загрязнение атмосферы»		«Общее загрязнение городской среды»					
		1	2	3	4	5	6
Газовые компоненты, мг/м ³	Оксид азота		0,18				
	Диоксид азота	0,17					
	Формальдегид	0,19	0,38				
	Оксид углерода	0,19		0,4	0,19		
Взвешенные вещества, мг/м ³		0,18	0,25		0,3	0,17	
Размеры твердых взвешенных частиц, мкм	0–1				0,48	0,42	
	1–10				0,41	0,44	
	10–50				0,38	0,31	
	50–100				0,33		
	400–700					0,28	
	> 700			0,33			
Токсичные металлы, мкг/л	Pb	0,17		0,15	0,43		
	Mn	0,59	0,18	0,35			
	Fe	0,55	0,26	0,34			0,18
	Ni	0,45	0,27		0,25		
	Co				0,3		0,23
	Cu			0,18	0,29		
Итоговые значения $\bar{r}$ (средние значения r)		0,31	0,25	0,29	0,34	0,32	0,21

Примечание. Показатели системы «общего загрязнения городской среды»: 1 – СПЗ (суммарный показатель загрязнения почвы, %), 2 – промышленные выбросы высокого класса опасности, т/год, 3 – характер селитебной застройки, %, 4 – плотность автомобильных дорог, %, 5 – интегральный показатель, усл. ед., 6 – количество котельных на территории; $\bar{r}$ (средние значения r); здесь и в табл. 2 курсив – $p < 0,05$; полужирный курсив – $p < 0,01$.

почв. Загрязнение воздуха взвешенными веществами связано также с выбросами автомобильного транспорта и промышленных объектов (см. табл. 1). Несколько ниже зависимость между «интегральным показателем» и показателем СПЗ, так как действие одного показателя может частично нивелироваться действием другого. «Интегральный показатель» характеризует саногенные свойства окружающей среды, а СПЗ отражает путь загрязнения воздуха поднимающимися пылевыми потоками.

Наиболее вредным для органов дыхания и здоровья является ряд компонентов выхлопных газов автомобилей – твердые нано- и микрочастицы сажи, угарный газ, оксиды серы, формальдегид, тяжелые металлы и, как недавно было показано, углеродные наноматериалы с адсорбированными на них токсическими компонентами [5]. Поэтому важным направлением исследования явилось изучение влияния внешних факторов загрязнения воздуха на структуру взвешенных веществ по размерному ряду воздушных фракций и содержанию токсичных металлов [2].

Проведенные исследования показали, что на размерность твердых частиц большое воздействие оказывает автомобильный транспорт (0–100 мкм) и «интегральный показатель» (0–50 мкм) (см. табл. 1). Содержание токсичных металлов в атмосфере связано почти со всеми показателями системы «общее загрязнение городской среды», кроме «интегрального показателя», что говорит о некотором снижении роли зеленой зоны и прибрежной акватории в очищении воздуха от токсичных металлов г. Владивостока.

Следующим средоформирующим фактором, активно воздействующим на состояние системы «техногенное загрязнение атмосферы», является климат. Система климатических параметров несколько уступает по воздействию системе «общее загрязнение городской среды», но влияние климата в городе является значимым (см. риунок). Превалирование вклада техногенного загрязнения атмосферы указывает на недостаточность воздействия естественных климатических условий в полноценное самоочищение атмосферы г. Владивостока.

Таблица 2

Связь (r) климатических факторов с показателями техногенного загрязнения атмосферы

«Климатические факторы»	Показатели «техногенного загрязнения атмосферы», мг/м ³			
	Оксид азота NO	Диоксид азота NO ₂	Взвешенные вещества	Формальде- гид
Сезон (зима, весна, лето, осень)		0,25	0,20	0,21
Атмосферные явления (дождь, снег и т.д.)		0,27		
Влажность воздуха, %		0,25	0,17	0,16
Фактическая температура воздуха, °C			0,23	0,24
Предшествующая температура, °C			0,22	0,24
Точка росы, °C			0,23	0,23
Изменение давления, мм рт. ст.	0,26	0,28		
Предшествующая скорость ветра, м/с				0,21
Изменение скорости ветра, м/с	0,20	0,25		
Направление ветра, румбы			0,18	0,24
Предшествующее направление ветра, румбы		0,19	0,17	0,31

Проведенный анализ парных корреляций (r) климатических параметров с показателями техногенного загрязнения атмосферы позволил выявить специфические особенности формирования загрязнения воздуха (табл. 2).

В проведенных расчетах из 29 исходных климатических параметров и 7 показателей загрязнения статистически значимые связи выявлены для 11 климатических факторов и 4 показателей из системы «техногенное загрязнение атмосферы» (см. табл. 2). Все выделенные климатические показатели в той или иной мере участвуют в естественном процессе самоочищения атмосферы. Связь загрязнения воздуха с сезоном года обусловлена влиянием характерных для муссонного климата особенностей циркуляции атмосферы, которые благодаря специфическим ветровым режимам с различной интенсивностью очищают воздух в течение года. Такие факторы, как повышенная влажность воздуха, температурные характеристики, показатели точки росы (температура, при которой приостанавливается процесс испарения и начинается конденсация), препятствуют процессу самоочищения атмосферы, особенно от газовых компонентов. В то же время «атмосферные явления» (дождь, снег, морось, бури) в городе максимально очищают атмосферный воздух.

По количеству корреляционных связей показателей техногенного загрязнения атмосферы с климатическими параметрами можно расположить в определенный ряд: формальдегид (8 статистически значимых связей, из них 7 – при $p < 0,01$) > взвешенные вещества (соответственно 7 и 3) > диоксид азота (соответственно 6 и 5) > оксид азота (2 связи) (см. табл. 2). Это свидетельствует о том, что климатические параметры

г. Владивостока наиболее тесно связаны с газовыми компонентами загрязнения воздуха. Влияние климата на загрязнение воздуха взвешенными веществами несколько снижено (максимальное число связей – 4, $p < 0,05$). Если учесть, что окружающая среда города активно загрязняет воздух взвешенными веществами мелких фракций (до 100 мкм) и металлами (Mn, Fe, Ni) (см. табл. 1), можно предположить возможность нанесения этими факторами ущерба здоровью населения г. Владивостока.

На следующем этапе исследовали влияние загрязнения атмосферного воздуха на уровень общей заболеваемости БОД в г. Владивостоке. Для определения совокупного целостного воздействия ($R_{\text{отн}}$, %) компонентов загрязнения на заболеваемость использовали энтропийный анализ. При оценке учитывали данные техногенного загрязнения атмосферы, общего загрязнения городской среды. Установлено, что обусловленность распространения БОД загрязнением воздуха в г. Владивостоке во многом определяется возрастной категорией населения с разным уровнем адаптации к окружающей среде. Так, у взрослого населения эта обусловленность наименьшая ($R = 12,5$ %), у детей несколько выше ($R = 14$ %) и у подростков самая высокая ($R = 18,6$ %). Таким образом, вклад загрязнения атмосферного воздуха в общую заболеваемость БОД составляет от 12,5 до 18,6 %, что говорит о значительном влиянии неучтенных причин (климатические, социальные, генетические, образ жизни и др.).

Для выделения доминирующего действия факторов техногенного загрязнения атмосферного воздуха на уровень общей заболеваемости БОД определялись парные непараметрические

корреляционные связи. Качество атмосферного воздуха города оценивалось по среднегодовым данным мониторинга за 2011–2013 гг. Данные загрязнения воздуха корректировались рельефными особенностями, плотностью городской застройки с учетом преобладающих ветров в обследуемых районах. Оценка включала процедуру сопоставления показателей общей заболеваемости населения БОД с данными мониторинга качества атмосферного воздуха в районах проживания населения, прикрепленного к муниципальным поликлиникам. Анализ зависимостей установил сильную связь ($r = 0,88$ и $r = 0,6$ при $p < 0,05$) уровня общей заболеваемости БОД с содержанием диоксида азота и взвешенных веществ в воздухе во взрослой возрастной группе. У детей уровень общей заболеваемости БОД зависит ($r = 0,58$, $p < 0,05$) от содержания оксида углерода в атмосфере. В связи с отсутствием у подростков доминантного действия отдельных загрязнителей можно сделать предположение о равномерном патогенном влиянии всего комплекса загрязнителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование качественного состояния атмосферы г. Владивостока обусловлено влиянием общего загрязнения городской среды и климатических особенностей муссонного климата. Главный вклад в общее загрязнение среды вносит автомобильный транспорт, который выделяет в воздух наибольшее количество взвешенных твердых частиц микроразмерного ряда (0–100 мкм). Газовые выбросы автомобилей активно выносятся за пределы города благодаря климатическим условиям – ветровому режиму, циклонической деятельности, особенно в зимний период, когда влажность воздуха минимальная. Общее содержание техногенных выбросов перераспределяется согласно характеру селитебной застройки, рельефу и саногенным свойствам окружающей среды (влияние растительности, морских акваторий). Экологическая обусловленность распространения заболеваний органов дыхания от воздействия техногенного загрязнения воздуха у населения города не превышает 18,6 %, что говорит о значительном вкладе других факторов: климатических, социальных, генетических, образа

жизни. Однако высокий уровень загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта в городе, в том числе нано- и микроразмерными частицами с высокой токсичностью, даже в малых дозах может способствовать росту уровня БОД в городе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев В.Ю., Жигаев Д.С., Кислицина Л.В., Кикун П.Ф. Оценка влияния атмосферного воздуха на здоровье населения Владивостока и ее особенности // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2012. 49–50. (3–4). 79–82.
2. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2013. 178 с.
3. Доклад о состоянии окружающей природной среды Приморского края в 2000–2008 годах. Приморский край / Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов; ред. ком. М.Н. Бибииков, К.М. Кученко, С.А. Киселев. Владивосток, 2013.
4. Кикун П.Ф., Веремчук Л.В., Деркачева Л.Н. и др. Использование информационно-энтропийного анализа для оценки распространения болезней органов дыхания на территории Приморского края // Бюл. физиологии и патологии дыхания. 2001. (10). 12–20.
5. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильно-дорожного комплекса // Гигиена и санитария. 2014. 93. (6). 17–21.
6. Региональный Интернет-ресурс. Режим доступа свободный: <http://vestiregion.ru>
7. Чем дышал Владивосток [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный: <http://www.Primopogoda.ru>.
8. Янькова В.И., Гвозденко Т.А., Голохваст К.С. и др. Гранулометрический анализ атмосферных взвесей экологически благополучного и неблагополучного районов Владивостока // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2014. 56. (2). 62–66.
9. Jung H.S., Miller A., Park K., Kittelson D.B. Carbon nanotubes among diesel exhaust particles: real samples or contaminants? // J. Air Waste Manag. Assoc. 2013. 63. (10). 1199–1204.
10. Wang J., Pui D.Y.H. Dispersion and filtration of carbon nanotubes (CNTs) and measurement of nanoparticle agglomerates in diesel exhaust // Chem. Eng. Sci. 2013. 85. 69–76.

THE DEVELOPMENT OF AIR POLLUTION IN CITY AND ITS IMPACT ON RESPIRATORY MORBIDITY

**Lyudmila Vasil'evna VEREMCHUK¹, Vera Innokent'evna YAN'KOVA¹,
Tatyana Isaakovna VITKINA¹, Lyudmila Sergeevna BARSKOVA¹,
Kirill Sergeevich GOLOKHVAST^{1,2}**

¹ *Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration –
Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment
690105, Vladivostok, Russian str., 73-g*

² *Far Eastern Federal University
690990, Vladivostok, Sukhanov str., 8*

Aim: Objective: The study of the contribution of anthropogenic and natural factors on the air quality and its impact on respiratory morbidity. **Materials and Methods:** The data from statistical reporting form № 12, monitoring of the Federal Service; reports on the environmental state, and indirect indicators have been used. The aerosol microparticles were studied. **Results and discussion:** The air quality is formed by common urban pollution and the features of the monsoon climate. The contribution of technogenic air pollution in respiratory morbidity is up to 18.6 %. The microparticles of high toxicity can increase the incidence of respiratory diseases.

Key words: air quality assessment, climatic factors, air microparticles, respiratory diseases.

Veremchuk L.V. – doctor of biological sciences, leading researcher of the laboratory of medical ecology and recreational resources, e-mail: veremchuk_ly@mail.ru

Yan'kova V.I. – candidate of biological sciences, associate professor, senior researcher of the laboratory of medical ecology and recreational resources, e-mail: jankova_nch@list.ru

Vitkina T.I. – doctor of biological sciences, head of the laboratory of medical ecology and recreational resources, e-mail: tash30@mail.ru

Barskova L.S. – junior researcher of the laboratory of medical ecology and recreational resources, e-mail: vfdnz_nch@mail.ru.

Golokhvast K.S. – candidate of biological sciences, senior researcher, associate professor of department of life safety in technosphere, e-mail: droopy@mail.ru