

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© Коллектив авторов, 2016
УДК 613.71(571.51)
DOI:10.2388/PAVLOVJ2016417-24

**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ**

С.В. Куркатов¹, А.П. Михайлуц², О.Ю. Иванова¹

Красноярский государственный медицинский университет
им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, ул. Партизана Железняка, 1
660022, г. Красноярск, Российская Федерация (1)

Кемеровский государственный медицинский университет,
ул. Ворошилова, 22а, 650029, г. Кемерово, Российская Федерация (2)

В статье приводятся результаты изучения уровня техногенных нагрузок на атмосферный воздух и характера их связи с индексом загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) в промышленных городах Красноярского края. Приведены результаты анализа планировочных решений промышленных городов Красноярского края, имеющих отношение к формированию загрязнений атмосферного воздуха и влияние метеорологических условий на качество атмосферного воздуха. Установлено, что наибольшие уровни техногенной нагрузки на атмосферный воздух отмечаются в городах Норильске, Красноярске, Ачинске и Назарово. На одной пятой городских территорий Красноярского края реализованы нерациональные планировочные решения, способствующие в метеоусловиях Красноярского края формированию уровней загрязнения атмосферного воздуха выше ПДК.

Ключевые слова: атмосферный воздух, антропогенное загрязнение, планировочные решения, индустриальные центры.

**THE FORMATION OF TECHNOGENIC LOADS AND CHEMICAL POLLUTION
OF ATMOSPHERIC AIR IN MODERN CONDITIONS OF DEVELOPMENT
OF PRODUCTIVE FORCES IN KRASNOYARSK REGION**

S.V. Kurkatov¹, A.P. Mihailuts², O.Y. Ivanova¹

Krasnoyarsk state medical University named after professor V.F. Voyno-Yasenetsky,
Partizan Zheleznyak str., 1, 660022, Krasnoyarsk, Russian Federation (1)

Kemerovo state medical University, Voroshilova str., 22A,
650029, Kemerovo, Russian Federation (2)

The article presents the results of studying the level of anthropogenic loads on the atmosphere and the nature of their relationship with the index of air pollution (API) in the industrial cities of Krasnoyarsk Krai. Presents the results of the analysis of planning decisions of industrial cities of Krasnoyarsk Krai pertaining to the formation of air pollution

and the influence of meteorological conditions on air quality. Found that the greatest levels of anthropogenic load on atmospheric air are observed in the cities of Norilsk, Krasnoyarsk, Achinsk and Nazarovo. On one-fifth of urban areas of Krasnoyarsk Krai implemented irrational planning decisions that contribute to the conditions of Krasnoyarsk region defining the levels of air pollution above levels of concern.

Keywords: atmospheric air, anthropo-technogenic pollution, planning decisions, industrial centers.

В настоящее время антропогенное загрязнение атмосферного воздуха урбанизированных территорий является одной из наиболее значимых гигиенических проблем в Российской Федерации [1, 2]. Формирование крупных промышленно-индустриальных центров приводит к существенному увеличению уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду и здоровье населения [3]. При этом существенное влияние на формирование уровней загрязнения атмосферного воздуха городских агломераций оказывает повторяемость отдельных неблагоприятных метеорологических условий и конкретные планировочные решения урбанизированной территории [4, 5, 6].

Таким образом, изучение особенностей формирования техногенных нагрузок и химического загрязнения атмосферного воздуха в современных условиях развития крупного индустриального центра является актуальной гигиенической задачей.

Цель исследования: изучить влияние планировочных решений на формирование качества атмосферного воздуха урбанизированных территорий в условиях климато-метеорологических особенностей Красноярского края.

Материалы и методы

Изучение мощности выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха в городах – промышленных центрах Красноярского края проводилось по данным отчетных форм 2ТП-Воздух и результатам инвентаризации выбросов промышленных предприятий. Рассчитывались объемы воздуха, необходимые для разбавления мощности выбросов до ПДК. Методом регрессионного анализа проведено изуче-

ние связи индекса загрязнения атмосферного воздуха и показателей антропогенной нагрузки на атмосферный воздух. Проведено изучение качества атмосферного воздуха на селитебных территориях, расположенных с наветренной и подветренной стороны относительно источников загрязнения атмосферного воздуха по данным объективного контроля при различных метеорологических условиях.

Для статистической обработки результатов исследования использовались методы регрессионного, корреляционного анализа, рассчитывались средние показатели и их ошибки. Достоверность различия оценивалась по критерию t и ошибке коэффициента корреляции.

Результаты и их обсуждение

Технико-экономические и социально-экономические решения по размещению и развитию производственных сил в Красноярском крае были ориентированы на чрезмерное сосредоточение в городах промышленных объектов. Как следствие, в промышленных городах края (Красноярск, Норильск, Ачинск, Канск, Минусинск, Лесосибирск, Назарово, Шарыпово и др.) сформировались значительные по мощности выбросы в атмосферу диоксида серы, оксидов азота, углерода монооксида, серной кислоты, фторидов, алюминия оксида, нафталина, пыли и других веществ (табл. 1).

Наибольшая техногенная нагрузка на атмосферный воздух формируется в промышленных городах, где на 1 га площади выбрасывается 4162 кг/год вредных веществ. Выделим особенности формирования антропогенных нагрузок вредными веществами в отдельных индустриальных городах края. Наибольшие

мощности выбросов вредных веществ на 1 га городских территорий и объемы воздуха, необходимые для разбавления выбросов до ПДК, отмечаются в городах Но-

рильске, Красноярске, Ачинске и Назарово, где сосредоточены предприятия цветной металлургии, нефтехимии, черной металлургии и теплоэнергетики (табл. 2).

Таблица 1

Мощности выбросов основных вредных веществ в атмосферу в промышленных городах Красноярского края

Вещество	Мощность выброса, т/год	Города, в которых имеются наибольшие по мощности выбросы в атмосферу
Аммиак	552	Красноярск, Лесосибирск, Канск, Минусинск, Ачинск
Бенз(а)пирен	2,17	Красноярск, Ачинск, Норильск, Назарово
Бензол	138	Красноярск, Железногорск, Ачинск
Диоксид серы	$2158,6 \cdot 10^3$	Ачинск, Красноярск, Минусинск, Норильск, Назарово
Кислота серная	23883	Ачинск, Норильск, Зеленогорск
Оксиды меди	680	Норильск, Минусинск
Нафталин	1137	Красноярск
Никель металлический	697	Норильск, Красноярск
Оксиды азота	70250	Красноярск, Норильск, Ачинск, Канск, Назарово, Минусинск, Лесосибирск
Оксиды кальция	1008	Ачинск, Красноярск, Канск
Пыль неорганическая	$145,3 \cdot 10^3$	Ачинск, Красноярск, Норильск, Назарово
Пыль органическая	5186	Красноярск, Лесосибирск, Назарово
Сажа	474	Бородино, Красноярск, Лесосибирск
Гидрофторид	692	Красноярск, Ачинск
Твердые фториды	1016	Красноярск, Ачинск
Монооксид углерода	$130,3 \cdot 10^3$	Красноярск, Норильск, Ачинск, Канск, Назарово, Минусинск
Фенол	13,2	Ачинск, Назарово, Красноярск
Оксид алюминия	665	Красноярск, Ачинск
Хлор	72	Красноярск, Норильск, Бородино
Сероуглерод	115	Красноярск, Норильск
Формальдегид	43,3	Лесосибирск, Красноярск, Назарово, Ачинск

Таблица 2

Показатели антропогенной нагрузки на атмосферу в промышленных городах Красноярского края

Город	Мощность выбросов		Объем воздуха, необходимый для разбавления мощности выбросов до ПДК, тыс. м ³ /с	Объем воздуха, необходимый для разбавления мощности выбросов до ПДК, м ³ /с на 1 га
	всего, тыс. т/год	т/год на 1 км ²		
Ачинск	168,4	1651	17799	1745
Канск	33,8	368	5365	583
Красноярск	423,0	1106	74690	2146
Лесосибирск	32,3	119,3	10256	378
Минусинск	17,5	287	2773	454
Назарово	130,4	1650	8272	1047
Норильск	2112	2315	223208	2480

В промышленных городах Красноярского края установлены прямые сильные связи, описываемые уравнениями линейной регрессии, между величиной интегрального показателя загрязнения атмосферы (ИЗА) с одной стороны, и мощностью выбросов в атмосферу на 1 км² городских территорий, объемом воздуха, необходимого для разбавления мощности выбросов на 1 га территории до ПДК, – с другой стороны (табл. 3). Следовательно, технико-экономические и

социально-экономические решения, при которых в городах Красноярского края были сосредоточены энергоемкие и высокоотходные предприятия цветной и черной металлургии, угольной, теплоэнергетической, нефтехимической и химической промышленности, определили высокие антропогенные нагрузки химическими веществами на атмосферный воздух, обуславливающие в свою очередь увеличение значений его интегральных показателей загрязнения.

Таблица 3

Связи индекса загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА) и показателей антропогенной нагрузки на атмосферный воздух в промышленных городах Красноярского края

Зависимая переменная У	Независимая переменная Х	Уравнение линейной регрессии $y = a_0 + a_1 \cdot x$	Коэффициент корреляции	Р
Индекс загрязнения атмосферы	Мощность выбросов в атмосферу, т/км ² год	$y = 4,57 + 0,0035 \cdot x$	0,73	0,05
	Объем воздуха, необходимый для разбавления мощности выбросов до ПДК м ³ /с на 1 га	$y = 2,6 + 0,00443 \cdot x$	0,94	< 0,05

Гигиеническая оценка планировочных решений в индустриальных городах, принятых и реализованных в природно-климатических условиях Красноярского края показала, что в среднем по краю на 22,4% городских территорий фиксируются концентрации атмосферных поллютантов, превышающие ПДК. При этом в этих городах постоянно проживают от 11,4% до 19,6

% населения края (табл. 4). В природно-климатических условиях Красноярского края нельзя признать рациональными планировочные решения промышленных городов, при которых в течение года от 24,3% до 40,7% селитебных территорий находятся подветренно по отношению к предприятиям – источникам загрязнения атмосферы.

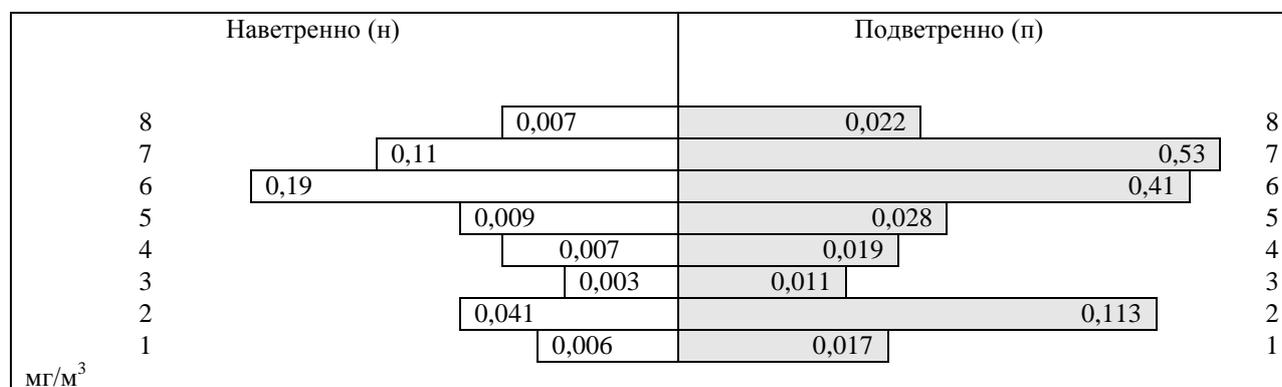
Таблица 4

Характеристика планировочных решений промышленных городов Красноярского края, имеющих отношение к формированию загрязнений атмосферного воздуха

Города	Территории на которых фиксируются атмосферные поллютанты превышающие ПДК		Территории жилой зоны, находящиеся в течение года на подветренной стороне по отношению к источникам загрязнения атмосферы	
	доля от площади города, %	доля проживающих, %	доля от площади города, %	доля проживающих, %
Ачинск	17	11,4	40,7	36,2
Канск	24,5	19,6	32,1	20,8
Красноярск	26,3	15,1	30,7	24,2
Лесосибирск	20,6	19,1	28,8	21,7
Минусинск	19,8	14,8	24,3	16,5
Назарово	24,1	12,7	20,9	18,6
Норильск	20,9	13,1	29,8	28,3
Итого	22,4	14,6	27,4	24,6

На участках жилых зон, расположенных подветренно по отношению к промышленным предприятиям, концентрации в атмосферном воздухе больше чем при наветренном положении: диоксида серы – в 2,8 раза, диоксида азота – в 2,7 раза, гидрофторида – в 3,7 раза, сероуглерода – в 2,7 раза, взвешенных веществ – в 2,1 раза, алюминия – в 4,8 раза, аммиака – в 3,1 раза (рис. 1). Природно-климатические условия определяют самоочищающую способность атмосферного воздуха от загрязнений, режим поступле-

ния ксенобиотиков в почву и возможность использования рациональных планировочных решений по размещению предприятий и жилых зон. В следствие повторение штилей в течении 10-12% времени года и систематических приземных инверсий температуры воздуха в южной и центральных частях Красноярского края самоочищающая способность воздуха промышленных городов оказывается недостаточной и не обеспечивает содержание вредных веществ в пределах гигиенических норм.



Условные обозначения: 1 – диоксид серы, 2 – диоксид азота, 3 – гидрофторид, 4 – сероуглерод, 5 – аммиак, 6 – взвешенные вещества, 7 – алюминий, 8 – формальдегид

Рис. 1. Концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе территорий, находящихся на наветренной стороне (н) и подветренно (п) по отношению к источникам выбросов в атмосферу

Так, если при метеорологических условиях, способствующих рассеиванию выбросов, доля проб вредных веществ выше ПДК_{МР} находится в пределах 0,4-8,9%, в том числе выше 5,0 ПДК_{МР} – 0-1,2%, то при неблагоприятных метеорологических условиях для рассеивания выбросов эти показатели находятся в пределах соответственно 1,9-69,3 % и 0,3-8,1% (табл. 5).

Средние концентрации вредных веществ при неблагоприятных для рассеивания выбросов метеорологических условиях увеличиваются в атмосферном воздухе в 2 – 7,5 раз, при этом вероятность обнаружения концентраций выше ПДК_{МР}

в атмосферном воздухе в 1,6 раза больше, чем при метеорологических условиях, способствующих их рассеиванию.

Исследование показало, что антропогенная нагрузка, обусловленная выбросами стационарных источников, в городах Красноярского края существенно превышает аналогичные показатели на урбанизированных территориях Центрального, Южного, Приволжского федеральных округов [7]. Значительная эмиссия загрязняющих веществ предъявляет особые требования к условиям рассеивания и свидетельствует о необходимости существенных объемов воздуха, для разбавления

Таблица 5

Загрязнение атмосферного воздуха при различных метеорологических условиях

Вещество	Неблагоприятные метеорологические условия			Метеорологические условия, способствующие рассеиванию выбросов		
	% проб >ПДК _{МР}	% проб >5 ПДК _{МР}	$M \pm m$, мг/м ³	% проб >ПДК _{МР}	% проб >5 ПДК _{МР}	$M \pm m$, мг/м ³
Взвешенные вещества	29,5	8,1	0,66±0,07	2,3	0	0,13±0,02
Диоксид азота	14,3	3,7	0,061±0,007	0,6	0	0,016±0,002
Диоксид углерода	0,9	0	1,59±0,11	0	0	0,72±0,08
Аммиак	8,6	1,9	0,023±0,002	0,4	0	0,009±0,001
Диоксид серы	1,9	0,3	0,004±0,0005	0	0	0,002±0,0003
Гидрофторид	16,8	5,1	0,006±0,0005	1,3	0	0,001±0,0002
Сероуглерод	19,2	3,5	0,010±0,001	2,1	0	0,003±0,0005
Формальдегид	26,3	4,8	0,015±0,002	1,8	0	0,002±0,0004
Бенз(а)пирен	59,6	6,2	3,9·10 ⁶ ±0,4·10 ⁶	7,3	0	0,8·10 ⁶ ±0,12·10 ⁶
Бензол	2,4	0,3	0,05±0,006	0	0	0,01±0,002
Алюминий	69,3	5,6	0,78±0,1	8,9	1,2	0,19±0,03

выбросов стационарных источников до ПДК. Выявленные в результате регрессионного анализа линейные зависимости индекса загрязнения атмосферного воздуха от мощности выбросов в атмосферу урбанизированных территорий и объемов воздуха, необходимых для разбавления мощности выбросов до ПДК, подтвержденные и сильными прямыми корреляционными связями свидетельствует об определяющей роли стационарных источников в формировании качества атмосферного воздуха промышленных городов. В этих условиях особое значение приобретают рациональные планировочные решения, способствующие более эффективному рассеиванию выбросов. Однако наши исследования показали, что в среднем на одной пятой городских территорий, в результате нерациональных планировочных решений, создаются условия способствующие формированию более высоких концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (в 2,1-4,8 раза) отдельными загрязняющими веществами. Ситуация усугубляется климатическими особенностями региона, характеризующимися значительной повторяемостью метеорологических условий, неблагоприятных для рассеивания поллютан-

тов, во время которых регистрируются превышения ПДК_{МР} по отдельным загрязняющим веществам в 1,9-69,3% проб.

Таким образом, в промышленных центрах Красноярского края формируется комплекс условий, способствующий формированию высоких уровней загрязнения атмосферного воздуха, что приводит к существенному увеличению техногенных нагрузок и химического загрязнения атмосферного воздуха, уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду и здоровье населения [3].

Выводы

1. Наибольшие уровни техногенной нагрузки на атмосферный воздух отмечаются в городах Норильске, Красноярске, Ачинске и Назарово и обусловлены предприятиями цветной металлургии, нефтехимии, черной металлургии и теплоэнергетики.

2. В промышленных городах Красноярского края установлены прямые сильные связи, между величиной интегрального показателя загрязнения атмосферы (ИЗА) с одной стороны мощностью выбросов в атмосферу и объемом воздуха, необходимого для разбавления выбросов на единицу площади городских территорий до нормативных показателей – с другой стороны.

3. На одной пятой площади городов Красноярского края реализованы планировочные решения, способствующие формированию ненормативных уровней загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий.

4. В южной и центральных частях Красноярского края самоочищающая способность воздуха промышленных городов оказывается недостаточной и не обеспечивает содержание вредных веществ в пределах гигиенических норм.

Конфликт интересов отсутствует.

Литература

1. Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет 1998-2007 гг.: аналитический обзор. СПб.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2009. 133 с.
2. Ляпкало А.А., Дементьев А.А., Цурган А.М. Мониторинг качества атмосферного воздуха областного центра // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2013. № 4. С. 83-89.
3. Бадмаева С.Э., Циммерман В.И. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха городов Красноярского края // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 2. С. 27-32.
4. Боков В.Н., Воробьев В.Н., Серебрицкий И.А. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в мегаполисе и его связь с климатическими изменениями // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. №39. С.55-65.
5. Ляпкало А.А., Дементьев А.А., Цурган А.М. Влияние направление ветра на качество атмосферного воздуха в историческом центре г. Рязани в теплое время года // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2015. №1. С. 35-42.
6. Прусакова А.В. Климатические особенности и уровни загрязнения атмосферного воздуха на территории Иркутской области // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2015. Т. 1, № 1. С. 102-104.
7. Охрана окружающей среды в России. 2014: Статистический сборник. М.: Росстат, 2014. 78 с.

References

1. Ministerstvo prirodnyh resursov i jekologii RF [The Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation]. *Kachestvo vozduha v krupnejshih gorodah Rossii za desjat' let 1998-2007 gg.: analiticheskij obzor* [Air quality in major Russian cities for ten years 1998-2007: analytical review]. SPb.; 2009. 133 p. (in Russian)
2. Ljapkalo AA, Dement'ev AA, Curgan AM. Monitoring kachestva atmosfernogo vozduha oblastnogo centra [Monitoring of air quality regional center] *Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Russian medical biological Herald]. 2013; 4: 83-89. (in Russian)
3. Badmaeva SJe, Cimmerman VI. Antropogennoe zagrjaznenie atmosfernogo vozduha gorodov Krasnojarskogo kraja [Anthropogenic pollution of atmospheric air of cities of the Krasnoyarsk territory]. *Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik Krasnoyarsk state agrarian University]. 2015; 2: 27-32. (in Russian)
4. Bokov VN, Vorob'ev VN, Serebrickij IA. Uroven' zagrjaznenija atmosfernogo vozduha v megapolise i ego svjaz' s klimaticheskimi izmenenijami [The level of air pollution in the metropolis and its relationship to climate change]. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific notes of Russian state guidematerializes University]. 2015; 39: 55-65. (in Russian)
5. Ljapkalo AA, Dement'ev AA, Curgan AM. Vlijanie napravlenie vetra na ka-

- chestvo atmosfernogo voz-duha v istoricheskom centre g. Rjazani v teploe vremja goda [Influence of wind direction on air quality in the historic centre of Ryazan in the warm time of the year]. *Nauka molodyh (Eruditio Juvenium) [Science of young (Eruditio Juvenium)]*. 2015; 1: 35-42. (in Russian)
6. Prusakova AV. Klimaticheskie osobennosti i urovni zagrjaznenija atmosfernogo vozduha na territorii Irkutskoj oblasti [Climatic conditions and levels of pollution of atmospheric air on the territory of Irkutsk region]. *Sovremennye tehnologii i nauchno-tehnicheskij progress [Modern technologies and scientific-technical progress]*. 2015; 1 (1): 102-104. (in Russian)
7. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki RF: Statisticheskij sbornik [Federal state statistics service of the Russian Federation: Statistical compendium]. *Ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii. 2014 [Environmental protection in Russia. 2014]*. M.; 2014. 78 p. (in Russian)

Куркатов С.В. – д.м.н., профессор, зав. кафедрой гигиены Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

E-mail: s.kurkatov@mail.ru

Михайлуц А.П. – д.м.н., профессор кафедры гигиены федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

E-mail: komgdip1@kemsma.ru

Иванова О.Ю. – к.м.н., доцент, зав. учебной частью кафедры гигиены Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации.