

---

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

© Л.В. СТАВНИКОВА, Р.А. СТЕПЕНЬ

hlorka26@rambler.ru

УДК 504.51.6

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И АВТОТРАНСПОРТНЫХ ВЫБРОСОВ

**АННОТАЦИЯ.** Переориентация экономики Красноярска с лесохимического на металлургическо-строительный профиль и ускоренная автомобилизация серьезно изменили экологическую ситуацию в городе. Ее состояние изучали по материалам официальных экологических документов, загрязнению уличной атмосферы, используя комплекс биоиндикационных методов. Данные указывают на двукратное снижение аэрогенной нагрузки в период с начала 1990-х гг. до начала 2000 гг. (с 370 до 180 тыс.т). Начавшийся в 2002 г. подъем производства и рост численности автотранспорта привели к тому, что в 2010 г. аэрогенная нагрузка лишь незначительно (280 тыс. т) уступала доперестроечной и практически остается стабильной. Спецификой динамики загрязнения стало нарастание доли вредного воздействия выбросов автомобилей в общее загрязнение города. Несмотря на 3,5-кратное превышение потенциальной агрессивности поллютантов стационарных источников, выбросы автотранспорта в связи с их низким выделением опаснее для населения. Значение индекса загрязнения атмосферы (ИЗА)<sub>5</sub> промышленных районов (Советский и Ленинский) меньше его величины в селитебном Центральном районе с мощными магистралями. Результаты исследований указывают на превышение вредности автотранспортной эмиссии над выбросами стационарных источников.

**SUMMARY.** Reorientation of Krasnoyarsk economy from wood chemistry to metallurgical-building specialization and rapid motorization has seriously changed its environmental situation. The study of its state has been based on official environmental documents, pollution of street atmosphere and a complex of bioindicative methods. The data indicate a two-fold reduction of aerogenic load since the 1990s in comparison with the end of the 1990s and the beginning of the 2000s (from 370 to 180 thousand tonnes). Having started in 2002, the increase of production and the growth of motor vehicles led to the fact that in 2010 it was only slightly (280 thousand tonnes) inferior to pre-perestroika and remains practically stable. Pollution dynamics has become characterized by the increase of vehicle emissions harmful effects share in the total pollution of the city. Despite the 3.5-fold exceedance of potential aggressiveness of pollutants from stationary sources, motor vehicle emissions due to their low emission are more dangerous for the population. The value of APS<sub>5</sub> (Air Pollution Source) of the industrial Sovietsky and Leninsky districts is less than its value in the settlement Central district with its powerful motorways. Research results indicate excess hazard motor vehicle emissions over stationary sources emissions.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Автотранспорт, промышленное загрязнение, эмиссия, токсичность поллютантов.

**KEY WORDS.** Transport, industrial pollution, emission, toxicity of pollutants.

Негативное воздействие загрязнения атмосферы в Сибири повышается от автотранспорта к промышленным предприятиям и тепловым станциям. Не вызывает сомнения количественная сторона вопроса, поскольку ТЭС используют бурый уголь с высоким содержанием летучей золы.

Авторами статьи рассчитана токсичность выбросов передвижных и стационарных источников загрязнения Красноярска. Показано, что автотранспортная эмиссия более опасна для здоровья. Однако, при проведении таких исследований крайне важно учитывать происходящие экономические изменения, прежде всего перепрофилирование и ускоренную автомобилизацию. Другими важными факторами являются эффективность рассеяния примесей и токсичность компонентов. Данный вопрос актуален для Красноярска — города-миллионика, который входит в список наиболее загрязненных городов страны [1].

Целью исследования является сравнение массы и степени вредности воздействия промышленно-энергетических и автотранспортных выбросов городских источников загрязнения на население Красноярска.

Прямым следствием экономической переориентации в годы перестройки в Красноярске стало изменение состава эмиссии атмосферы города и обусловленное этим повышенное заболевание населения [2]. Изучение состояния воздушной среды краевого центра в 1992-2009 гг. проводили путем изучения материалов государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды, данным по загруженности автотранспорта и результатам химических и биоиндикационных анализов. Характер загрязнения уличной атмосферы рассчитывали по загруженности магистралей, исходя из типов автотранспортных средств в единицу времени [3]. При биоиндикационных исследованиях визуально оценивали состояние среды и стандартными морфометрическими, гравиметрическими и биохимическими методами анализировали хвою [4].

Биообъектом служила ель сибирская, произрастающая в городских условиях и в массиве леса. В опытах сравнивали результаты анализов хвои трех лет жизни. Основные исследования проводили с хвоей деревьев участков в Ленинском районе. Веточки отбирали со средней части кроны деревьев, произрастающих в одинаковых почвенно-климатических условиях и отдаленных примерно на 800 м. Первый из участков, «промышленный», находился в районе химкомбината «Енисей» преимущественно под воздействием эмиссии этого предприятия, ЕЦБК и ТЭЦ-1. Второй участок (№ 2) расположен вблизи самой мощной магистрали Правобережья — пр. Красноярский рабочий. Он испытывает сильное воздействие от выбросов автотранспорта. В Советском районе подобное автотранспортное и существенно меньшее промышленное воздействие испытывают насаждения, произрастающие соответственно вблизи магистрали с краю (№ 3) и внутри (№ 4) Гвардейского парка. В качестве контроля взяты участок внутри массива леса у села Рыбное Иланского района Красноярского края (№ 5).

На участках визуально оценивали состояние и размеры деревьев, цвет хвои, наличие на ней налетов и хлорозов. Для проведения анализа с каждого дерева отбирали по веточке. В лабораторных условиях с них ошипывали хвою, которую усредняли и полученные образцы анализировали в 2-3-кратной повторности. В образцах определяли влажность, массу, изучали пигменты и эфирное масло. Содержание и состав хлорофиллов и каротиноидов анализировали фотометрически; выход эфирного масла — волюмометрически, его состав — методом ГЖХ

с использованием неподвижной фазы SE-30 на хроматоне А и пламенно-ионизационном детекторе [5]. Содержание и фракционный состав масла, изменяющийся под влиянием загрязнения, позволяет количественно оценить экологическую ситуацию в зоне [4].

В последние 20 лет в связи с перестройкой, переводом экономики Красноярска с лесохимического на металлургическо-строительный профиль произошли серьезные изменения в аэрогенном загрязнении города, выражающиеся в том числе в количественном и компонентном составе выбросов. Весьма высокая эмиссия в начале 1990-х годов, связанная с использованием изношенного оборудования, снизилась к концу 1990-х годов в связи со спадом производительности и ликвидацией ряда предприятий. Начавшийся подъем производства и развитие индустрии, что хорошо видно в связи с увеличением численности и интенсивности функционирования автотранспорта, привел, начиная с 2002 г., к усилению аэрогенной нагрузки. Так, если в 1993 г. она достигала 374 тыс. т, в 2002-2003 гг. снизилась до 190-200 тыс. т, а к 2006-2009 гг. вновь возросла до 270-280 тыс. т. Важным аспектом усиления загрязнения воздуха в 1990-х гг. было акцентирование на сокращение производственных затрат за счет пренебрежения экологии. Оно дополнительно ухудшало экологическую ситуацию в промышленных Ленинском и Советском районах.

Динамика промышленно-энергетической и автотранспортной видов эмиссии существенно различается. Масса автотранспортных загрязнений за редким исключением (1998 и 2002 годы) в период 1992-2005 гг. практически находилась на одном уровне (около 55 тыс. т/год), а с 2006 г. резко возрастала почти вдвое. В то же время объем промышленно-энергетических выбросов, как и общая сумма загрязнения, характеризовался постоянным снижением в 2000-е годы, подъемом в 2004-2005 гг. и дальнейшим заметным сокращением. Основной причиной пребывания эмиссии передвижных источников на близком уровне в 1990-х и 2000-х гг. стал серьезный спад экономики с одновременным переводом транспорта от юридических к физическим лицам, способствующих их усиленной эксплуатации. Ее последующее повышение обусловлено подъемом производства. Динамика же промышленно-энергетических выбросов связана с последовательным затуханием экономики города, достигшим минимума в начальные 2000-е годы. Затем оно сменилось коротким подъемом в 2004-2005 гг. и последующей стагнацией. Следует отметить, что доля вклада главных источников загрязнения (КраЗ и ТЭЦ) среди 11 основных стационарных предприятий Красноярского края (0,43-0,44%) и города (0,75-0,78%) за время исследования оставалась близкой, в то время как по сравнению с общей эмиссией города Красноярска уменьшалась существенно (1996 г. — 0,62, 2001 г. — 0,52 и 2009 г. — 0,43). Логичным объяснением этого является проведение существенной модернизации технологии производства и рост численности автотранспорта.

Токсичность воздушной среды определяется составом находящихся там примесей и выражается индексом загрязнения среды, который в Красноярске представлен 4-мя постоянными соединениями — бенз(а)пиреном, формальдегидом, взвешенными веществами и диоксидом азота. В исследуемый период она определялась все время преимущественно вкладом первого из них — с 70-75% в конце 1990-х, 30-40% в нулевые и 50-55% в последние годы [6]. Существенен рост вклада формальдегида: с 5-6% в начальном периоде до 15-25% в осталь-

ные годы. Характер динамика массы и состава аэрогенных загрязнителей, с учетом постоянного совершенствования технологии КрАЗа, указывает на смещение в процессе перестройки типа выбросов — от стационарных к передвижным источникам. Такое представление нагляднее доказывается при сравнении изменчивости ИЗА<sub>5</sub> промышленного Советского и селитебного Центрального районов. В первом — его величина в последние 10 лет находится в пределах 10-13 ед., во втором — выросла с 11 ед. в 2002 г. до 24 ед. в 2008 г., существенно превышая общегородскую.

С учетом принадлежности автотранспорта, величине пробега в городских условиях его разных групп и принятом допущении, что выбросы осуществляются легковыми карбюраторными и равным количеством карбюраторных и дизельных грузовых автомобилей и автобусов для красноярского автопарка рассчитана масса основных компонентов выбросов в 2007 г. [7]. Полученные результаты оказались близкими официальным сведениям [6]. Расчеты свидетельствуют, что выбросы автопарка загрязняли атмосферу города, тыс. т: оксидом углерода — 108,8; диоксидом азота — 14,6; углеводородами — 20,5; оксидом серы — 1,4; формальдегидом — 0,24; производными свинца — 0,06; бенз(а)пиреном — 13,9 кг. По группам автотранспорта выбросы составили, тыс. т в год: легковые автомобили — 39,6; грузовые — 92,3 и автобусы — 14,8. Масса эмиссии стационарных источников взята из материалов государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды Красноярска [6].

Известная масса компонентов позволяет ориентировочно рассчитать и сравнить агрессивность автотранспортных и промышленно-энергетических выбросов (табл. 1).

Таблица 1

**Потенциальная агрессивность передвижных  
и стационарных выбросов, 10<sup>9</sup> отн. ед.**

Компоненты	Выбросы		Компоненты	Выбросы	
	автотранспортные	промышленные		автотранспортные	промышленные
Оксид углерода	108,8	83,0	Фтористые соединения	—	222,3
Диоксид азота	600,1	637,1	Медь и ее производные	—	0,1
Углеводороды	293,2	—	Никель и его производные	—	0,1
Оксиды серы	35,8	716,8	Толуол	—	0,1
Формальдегид	81,6	4,7	Сероводород	—	0,1
Производные свинца	204,6	0,1	Аммиак	—	0,1
Бенз(а)пирен	27,8	228,6	Хлор	—	0,1
Сажа	27	686,0	Всего	1353,8	4638,6

Расчеты показывают, что агрессивность промышленно-энергетических выбросов в 3,5 раза превышает автотранспортную. Вместе с тем в последнем случае не учитывается вклад пыли и диоксинов, в первом — летучих органических соединений. В обоих видах эмиссии ее общими многотоннажными составляющими являются оксиды азота; существенными дополнительными — в передвижных источниках — углеводороды, производные свинца и оксид углерода, в стационарных — оксиды серы, сажа, бенз(а)пирен и фтористые соединения.

Вместе с тем превышение потенциальной агрессивности промышленно-энергетических над автотранспортными выбросами нельзя считать достаточным для заключения о превалировании вредного воздействия для населения стационарных над передвижными источниками. Наряду с массой и агрессивностью поллютантов токсичность примесей не в меньшей мере определяется уровнем их рассеяния, которая в последнем случае в 40-60 раз ниже [8].

Заключение о токсичности вида эмиссии делалось на основании анализа официальных материалов и по полученным экспериментальным данным. В первом случае сравнивали значения  $IЗА_5$  в Советском районе, где находятся основные предприятия города (КраЗ, КраМЗ и др.) и Центрального, в котором они практически отсутствуют. Существенное превышение загрязнения в Центральном ( $IЗА_5$  21-24) районе по сравнению с Советским ( $IЗА_5$  11-13) указывает на более серьезное негативное воздействие автотранспортных выбросов над промышленными.

С целью непосредственной оценки воздействия сравниваемых выбросов на живые организмы проведены биоиндикационные исследования насаждений ели, произрастающей на близко расположенных участках, находящихся под влиянием автотранспортных (№ 2) и промышленных (№ 1) выбросов. Обследование показывает, что состояние деревьев на обоих участках практически одинаково, хотя хвои 3-го года на последнем из них меньше, чем на первом. Кроме того здесь она более светлая и на ней больше налетов и хлорозов, что является признаком ослабления развития. Ее морфометрические показатели на участке № 2 несколько меньше, чем на первом (длина 15,3 и 16,5 мм, а объем 10,6 и 12,9 мм<sup>3</sup>). Хвоя обоих этих участков заметно уступает хвое внутрипаркового (на 10-15%) и лесного (18-23%) насаждений.

При проведении биохимических, более информативных исследований, помимо хвои участков №№ 1 и 2 анализировали хвою ели в Советском районе: № 3 — в 5 м от магистрали и № 4 — в глубине парка. Результаты анализа и расчетов пигментного состава приведены в табл. 2.

Содержание хлорофиллов а и b и каротиноидов, а также отношение суммы первых к последним последовательно уменьшается от контроля (№ 5) к внутрипарковому (№ 4) участкам и посадкам, находящимся под влиянием промышленных (№ 1) и автотранспортных (№ 2, 3) выбросов. Отношение типов хлорофилла друг к другу изменяется в обратном направлении. Установленная закономерность вклада и соотношения пигментов, согласно литературным данным [9], [10], свидетельствует о повышенной опасности автотранспортной эмиссии по сравнению с промышленной.

Таблица 2

**Влияние загрязнения атмосферы на содержание (мг/г)  
и структуру пигментов**

Участки	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Отношение хлорофиллов, вида а/б	Сумма хлорофиллов, а+ b	Каротиноиды, к	Отношение пигментов, (а+ b)/к
1	707±11	255±8	2,73	962	296±8	3,25
2	694±9	243±10	2,96	937	292±7	3,21
3	688±11	224±7	3,07	912	288±8	3,25
4	758±14	279±10	2,72	1039	301±10	3,45
5	934±12	326±8	2,87	1260	346±10	3,64

Такие же выводы получены при изучении фракционного состава и вклада эфирного масла ели исследуемых участков (табл. 3).

Таблица 3

**Выход и состав эфирного масла ели на участках  
разной интенсивности аэрогенного загрязнения**

Показатели	Участки				
	1	2	3	4	5
Выход, %	0,68	0,61	0,64	1,01	0,89
Отношение монотерпеновых углеводов к сумме кислородосодержащих и сесвитерпеноидов масла	0,81	0,68	0,71	1,32	1,71

Отношение легкой и тяжелой фракций, как и содержание эфирного масла, характеризует последовательность нарастания экологической нагрузки, скорость превращения терпеноидов под влиянием загрязнения [11]. В соответствии с разработанной классификацией [4] ель на участках №№ 1,2 и 3 по экологическим признакам отнесена к четвертому, № 4 — ко второму и № 5 — к первому типу. Выглядевшее нелогичным повышенное содержание масла в хвое ели участка № 4 объясняется стимулированием синтеза этих соединений при среднем загрязнении атмосферы как ответная реакция растения на негативное воздействие среды.

В результате проведенных исследований рассчитана токсичность автотранспортных и промышленно-энергетических выбросов Красноярска. Анализ официальных материалов и данных биоиндикационных исследований показал, что эмиссия передвижных источников при существенно меньшей по сравнению с промышленно-энергетической массой выбросов в связи с низким уровнем их выделения из источника значительно превышает ее негативное действие.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Фрумин Г.Т. Загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах России и риск здоровью // Экологическая химия. 2002. № 11 (2). С. 73-77.
2. Идимичев В. Ф. Экологическое состояние окружающей среды Красноярска и проблемы ее улучшения // Стратегия социально-экономического развития Красноярска до 2010 года. Красноярск, 2004. С. 243-245.
3. Федорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. М., 2006. 277 с.
4. Есякова О.А., Степень Р.А. Зонирование загрязнения атмосферы г. Красноярска биоиндикационными методами. Красноярск, 2011. 124 с.



5. Ушанова В.М., Лебедева О.И., Девятловская А.Н. Основы научных исследований. Ч. 3. Исследование химического состава растительного сырья. Красноярск, 2004. 360 с.
6. Государственные доклады «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае». Красноярск, 1993-2009 гг.
7. Методические пособия по выполнению сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспортом городов (регионов) и их применение при нормировании выбросов. СПб., 2000. 320 с.
8. Лобанов А.И., Степень Р.А. Воздействие автотранспортных выбросов на окружающую среду г. Красноярска. Красноярск, 2005. 120 с.
9. Неверова О.А., Цандекова О.Л. Фотосинтетическая способность древесных растений как индикатор суммарного загрязнения атмосферного воздуха городской среды // Сибирский экологический журнал. 2010. Т. 17. № 2. С. 193-196.
10. Тужилкина В.В., Ладанова Н.В., Плюснина С.М. Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосен // Экология. 1998. № 2. С. 89-93.
11. Есякова О.А. Оценка загрязнения воздушной среды г. Красноярска по составу ассимиляционного аппарата ели сибирской // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2009. № 4. С. 89-93.

## REFERENCES

1. Frumin, G.T. Air Pollution in Major Cities of Russia and Health Risk. *Jekologicheskaja himija — Environmental Chemistry*. 2002. № 11 (2). Pp. 73-77. (in Russian).
2. Idimichev, V.F. Environmental State of Krasnoyarsk and Problems of its Improvement // *Strategija social'no-jekonomicheskogo razvitija Krasnojarska do 2010 goda* [Strategy for Socio-Economic Development of Krasnoyarsk up to 2010]. Krasnoyarsk, 2004. Pp. 243-245. (in Russian).
3. Fedorova, A.I., Nikol'skaja, A.N. *Praktikum po jekologii i ohrane okruzhajushhej sredy* [Laboratory Manual on Ecology and Environmental Protection]. Moscow, 2006. 277 p. (in Russian).
4. Esjakova, O.A., Stepen', R.A. *Zonirovanie zagrjaznenija atmosfery g. Krasnojarska bioindikacionnymi metodami* [Zoning of Krasnoyarsk Air Pollution by Bioindicative Methods]. Krasnoyarsk, 2011. 124 p. (in Russian).
5. Ushanova, V.M., Lebedeva, O.I., Devjatlovskaja, A.N. *Osnovy nauchnyh issledovanij. Ch. 3. Issledovanie himicheskogo sostava rastitel'nogo syr'ja* [Foundations of Scientific Research. Part 3. Study of Plant Raw Materials Chemical Composition]. Krasnoyarsk, 2004. 360 p. (in Russian).
6. *Gosudarstvennye doklady «O sostojanii i ohrane okruzhajushhej sredy v Krasnojarskom krae»* [State Reports «On the Environment State and Protection in Krasnoyarsk Krai»]. Krasnoyarsk, 1993-2009. (in Russian).
7. *Metodicheskie posobija po vypolneniju svodnyh raschetov zagrjaznenija atmosfernogo vozduha vybrosami promyshlennyh predpriyatij i avtotransportom gorodov (regionov) i ih primenenie pri normirovanii vybrosov* [Manuals for the Implementation of Summary Calculations of Air Pollution by Emissions from Factories and Vehicles of Cities (Regions) and their Use in the Emissions Regulation]. St.-Petersburg, 2000. 320 p. (in Russian).
8. Lobanov, A.I., Stepen', R.A. *Vozdejstvie avtotransportnyh vybrosov na okruzhajushhuju sredu g. Krasnojarska* [Impact of Motor Vehicle Emissions on the Environment of Krasnoyarsk]. Krasnoyarsk, 2005. 120 p. (in Russian).
9. Neverova, O.A., Candekova, O.L. Photosynthetic Ability of Woody Plants as an Indicator of the Cumulative Air Pollution of the Urban Environment. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal — Siberian Journal of Ecology*. 2010. V. 17. № 2. Pp. 193-196. (in Russian).
10. Tuzhilkina, V.V., Ladanova, N.V., Pljusnina, S.M. Influence of Anthropogenic Pollution on the Photosynthetic Apparatus of Pines. *Jekologija — Ecology*. 1998. № 2. Pp. 89-93. (in Russian).
11. Esjakova, O.A. Evaluation of Air Pollution on the Composition of Krasnoyarsk Siberian Spruce Assimilation Apparatus. *Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2009. № 4. P. 89-93. (in Russian).