

## Влияние выбросов промышленных предприятий на атмосферу

© А.В. Карпиков, Д.Е. Желонкина

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** В данной работе рассматривается проблема загрязнения воздуха городов, а также вещества, наносящие вред природе и здоровью человека. Вещества могут иметь физические, химические и биологические свойства. Каждое вещество относят к классу опасности в зависимости от его реакции с внешней средой: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные и малоопасные. Котельные наиболее сильно загрязняют воздух в городах. Они работают на различном топливе, соответственно, вещества, выпадающие в атмосферу, тоже будут разными. Главным источником получения энергии является органическое топливо, которое может быть естественным или искусственным, оно имеет три агрегатных состояния: жидкое, газообразное и твёрдое. Простые вещества и их соединения содержатся в каждом агрегатном состоянии любого вида топлива, но в разном процентном соотношении, поэтому они по-разному влияют на здоровье человека. Все жилые здания должны находиться на нормативном расстоянии от котельных и прочих производственных строений. Оно зависит от климатических и географических факторов местности и от того, в какую сторону идёт рассеивание вредных веществ. Вокруг теплоэнергетических зданий также должны быть созданы санитарно-защитные зоны.

**Ключевые слова:** загрязняющие вещества, топливо, атмосферный воздух, рассеивание газообразных веществ, санитарно-защитная зона

## The Impact of Industrial Emissions on the Atmosphere

© Alexander V. Karpikov, Daria E. Zhelonkina

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** The article deals with the problem of air pollution in cities, as well as substances that are harmful to nature and human health. Substances can have physical, chemical and biological properties. Each substance is classified as a hazard class depending on its reaction with the environment: extremely hazardous, highly hazardous, moderately hazardous and low hazard. Boiler houses pollute the air the most in cities. They run on different fuels, respectively, the substances released into the atmosphere will also be different. The main source of energy is fossil fuel, which can be natural or artificial; it has three states of aggregation: liquid, gaseous and solid. Simple substances and their compounds are contained in each state of aggregation of any type of fuel, but in a different percentage, so they have different effects on human health. All residential buildings should be located at a standard distance from boiler houses and other industrial buildings. It depends on the climatic and geographical factors of the area and on the direction in which the dispersion of harmful substances is going. Sanitary protection zones should also be created around heat-and-power buildings.

**Keywords:** pollutants, fuel, atmospheric air, dispersion of gaseous substances, sanitary protection zone

Загрязнением атмосферы называют внесение новых, несвойственных для неё физических, химических и биологических веществ или превышение естественной среднесуточной величины этих агентов [1, 2].

Загрязняющее вещество представляет собой биологическое или химическое соединение либо их смесь. Загрязняющие вещества скапливаются в атмосферном воздухе и в определённых концентрациях оказывают негативное воздействие на состояние здоровья человека и на компоненты

окружающей природной среды. Из документа Методическое письмо НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17.05.2000 «О проведении расчётов выбросов вредных веществ в атмосферу по "Методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час"» следует, что в результате антропогенного воздействия на атмосферу возможны следующие негативные последствия:

– превышение ПДК многих токсичных

веществ в городах и населённых пунктах;

- образование смога при интенсивных выбросах оксидов азота и углеводородов;

- выпадение кислотных осадков при выбросах оксидов серы и азота;

- появление парникового эффекта при повышенном содержании углекислого газа в атмосфере, что способствует увеличению средней температуры Земли;

- разрушение озонового слоя при поступлении в него соединений хлора и азота, что создаёт опасность увеличения ультрафиолетового излучения.

При поступлении в атмосферу выбросы включают в себя продукты реакций в различном фазовом состоянии: твёрдом, жидком и газовом. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», изменение состава выбросов может проявляться в следующем виде:

- распад на компоненты по массе и размерам;

- осаждение тяжёлых фракций;

- химические реакции с компонентами воздуха;

- взаимодействия с облаками, воздушными потоками, атмосферными осадками, солнечным излучением различной частоты (фотохимические реакции).

В зависимости от интегральных особенностей влияния на окружающую среду все вредные вещества разделяют на 4 класса опасности:

- чрезвычайно опасные (бенз(а)пирен –  $C_{20}H_{12}$ );

- высокоопасные (формальдегид –  $CH_2O$ , диоксид азота –  $NO_2$ );

- умеренно опасные (сажа –  $C$ , диоксид серы –  $SO_2$ , оксид азота –  $NO$ );

- малоопасные (аммиак –  $NH_3$ , оксид углерода –  $CO$ ).

Котельные являются наиболее распространёнными источниками загрязнения атмосферного воздуха среди предприятий жилищно-коммунального хозяйства (на их долю приходится до 80 % суммы выбросов всех загрязняющих веществ). Паровые котлы котельной вырабатывают пар для технологических нужд и обогрева производственных помещений. Перечислим виды сбрасываемых котельными загрязняющих веществ в зависимости от вида топлива, на котором они работают. Для котельных, работающих на твёрдом или жидком топливе: оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, диоксид

серы, бенз(а)пирен, твёрдые частицы (летучая зола – сажа; коксовые остатки или мазутная зола в пересчёте на ванадий). Для котельных, работающих на газообразном топливе: оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, бенз(а)пирен (природный или доменный газ) [3, 4].

Рассмотрим показатели топливного оборудования, обуславливающие количественные и качественные показатели выбросов. Под топливом понимают горючие вещества, которые экономически целесообразно использовать для получения значительного количества теплоты.

Главным источником получения энергии является органическое топливо. Органическое топливо по происхождению подразделяют на природное (естественное) и искусственное, а по агрегатному состоянию при обычных условиях – на твёрдое, жидкое и газообразное. К примеру, жидким природным топливом является нефть, а искусственным – продукты её переработки: мазут, дизельное топливо, бензин [5].

Твёрдые и жидкие топлива – это сложные соединения горючих элементов. Химический состав газообразных топлив, представляющих собой простые смеси, определяют полным газовым анализом и выражают в процентах от их объёма.

Топливо в том виде, в каком оно поступает к потребителю, называется рабочим, а вещество, составляющее его, – рабочей массой. В топливо входят горючие вещества: углерод, водород, сера, а также кислород и азот, находящиеся в сложных высокомолекулярных соединениях. Топливо содержит негорючие минеральные примеси, превращающиеся при сжигании топлива в золу и влагу.

Основной горючей составляющей топлива является углерод, горение которого обуславливает выделение основного количества тепла. Водород является вторым по значению элементом горючей массы топлива, его содержание в горючей массе твёрдых и жидких топлив колеблется от 2 до 10 %. Много водорода содержится в природном газе, мазуте и горючих сланцах, меньше всего – в антраците [6, 7].

Кислород и азот в топливе являются органическим балластом, так как их наличие уменьшает содержание горючих элементов в топливе. Содержание кислорода велико в древесине и торфе. Азот при сжигании топлива в атмосфере воздуха не окисляется и переходит в продукты сгорания в свободном

виде. Сера может содержаться в топливе в трёх видах: органическая  $S_{ор}$ , колчеданная  $S_k$  и сульфатная  $S_c$ . Органическая сера входит в состав сложных высокомолекулярных органических соединений топлива.

Органическая и колчеданная сера  $S_{ор+k}$  при горении топлива окисляется с выделением тепла. В таблице представлен состав некоторых видов топлива.

Состав некоторых видов топлива

Топливо	Состав горючей массы, %				
	C <sup>r</sup>	W <sup>r</sup>	O <sup>r</sup>	N <sup>r</sup>	S <sub>ор+k</sub> <sup>r</sup>
Древесина	51	6	42,5	0,5	–
Торф	58	6	33	2,5	0,5
Бурый уголь	64–77	4–6	15–25	1	0,5–7,5
Каменный уголь: длиннопламенный тощий	75–80	5–6	10–16	1,5	0,5–7
	88–90	4–4,5	3–4	1,5	1–3
Антрацит	90–93	2–4	2–4	1	0,5–2
Горючие сланцы	60–65	7–9	10–17	1	5–15
Мазут	86–88	10–10,5	0,5–0,8		0,5–3

В твёрдом топливе значительную часть примесей составляют внешние примеси. Поэтому содержание минеральных примесей даже в одном и том же виде топлива может сильно колебаться. Основными минеральными примесями являются силикаты (кремнезем –  $SiO_2$ , глинозем –  $Al_2O_3$ , глина), сульфиды (преимущественно  $FeS_2$ ), карбонаты ( $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ,  $FeCO_3$ ), сульфаты ( $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ ), закиси и окиси металлов, фосфаты, хлориды, соли щелочных металлов.

Рассмотрим факторы, обуславливающие рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Оценка состояния атмосферного воздуха городских территорий при поступлении загрязняющих веществ требует учитывать как физико-географические и климатические особенности территории, так и многообразие и взаимодействие источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В мегаполисах и крупных городах особенно высокие уровни загрязнения воздушного бассейна отмечаются в зимние месяцы, на которые приходится период наибольшей отопительной нагрузки и наименьшей способности атмосферы к самоочищению из-за климатических особенностей [8].

Согласно документу Методическое письмо НИИ Атмосфера № 838/33-07 от 11.09.2001 «Изменения к методическому письму НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17.05.2000», существует ряд факторов, определяющих максимальное расстояние, на которое данные вещества способны распространяться. Если говорить о территории

Российской Федерации, то к таким факторам относятся следующие: высота источника выброса, сила и преобладающее направление ветра, коэффициент оседания вещества, рельеф местности, сезонные колебания свойств атмосферы [9, 10].

На рисунке 1 приведена схема рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Эта схема показывает механизм распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, при котором основными факторами являются как расстояние до жилой застройки, так и высота трубы, из которой выбрасывается газо-воздушная смесь. В любом случае максимальная концентрация загрязнений не должна выходить за пределы санитарно-защитной зоны, постепенно снижающей эту концентрацию. Более того, на границе этой зоны не должно фиксироваться превышение установленных нормативов ПДК.

На представленной схеме приведены зоны распределения выбрасываемой газо-воздушной смеси промышленным объектом. Таким образом, загрязняющие вещества из точечного источника (трубы) сначала направляются в верхние слои атмосферы (зона переброса факела), затем после снижения температуры начинается процесс их распределения в атмосферном воздухе (зона задымления). При этом фиксируются максимальные концентрации загрязнений в приземной части атмосферы. После этого распространение загрязняющих веществ приводит к постепенному уменьшению их концентрации (зона снижения загрязнения).



Рис. 1. Схема рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

В соответствии с требованиями природоохранного и санитарно-эпидемиологического законодательства по периметру объектов и производств, являющихся источниками негативного влияния на среду обитания и здоровье человека, определяется специальная территория, на которую накладывается особый режим использования. Протяжённость этой зоны обеспечивает уменьшение влияния биологического, химического, физического загрязнений на атмосферный воздух, снижает их до значений, определённых гигиеническими нормативами. Наличие такой зоны способствует обеспечению безопасности населения.

В пределах городской застройки на распространение примесей влияют также упорядоченные вертикальные движения, обусловленные неоднородностью подстилающей поверхности. Например, в условиях пересечённой местности на наветренных склонах возникают восходящие движения, а на подветренных образуются нисходящие движения. Над водоёмами летом возникают нисходящие, а в прибрежных районах восходящие движения. При нисходящих воздушных потоках концентрации загрязнений возле земли усиливаются. Наличие восходящих потоков уменьшает уровень загрязнения.

В некоторых формах рельефа (например, в котловинах) воздух застаивается, что приводит к накоплению вредных веществ вблизи подстилающей поверхности, особенно от низких источников выбросов. В холмистой местности максимумы приземной концентрации примесей обычно больше, чем при отсутствии неровностей рельефа.

На рассеивание примесей в условиях города существенно влияют планировка улиц,

их ширина, направление, высота зданий, зелёных массивов, а также водные объекты, образующие как бы разные формы наземных препятствий воздушному потоку и приводящие к возникновению особых метеорологических условий в городе.

Применительно к территории Российской Федерации следует отметить, что в европейской части метеорологические особенности способствуют накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе [11, 12].

При рассмотрении процесса распределения загрязнений в атмосферном воздухе выявлено, что рассеивающая способность определяется рядом факторов: спецификой загрязняющих веществ, высотой источника выбросов, а также климатическими особенностями. Достижение количественного снижения выбросов в атмосферный воздух может быть достигнуто только при комплексной работе, включающей в себя совокупность мероприятий, реализуемых не только на рассматриваемом предприятии, но и на федеральном, региональном и локальном уровнях. Основным методом снижения воздействия выбросов загрязняющих веществ на человека является защита расстоянием. Другими словами, чем дальше расположена жилая застройка от источника теплоснабжения, тем меньше проявляется негативное воздействие. На рисунке 2 представлена зависимость концентрации загрязняющих веществ от расстояния от источника выбросов, соответствующая указаниям документа «Временная методика определения предотвращённого экологического ущерба. Утверждена Председателем Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды 9 марта 1999 г.».

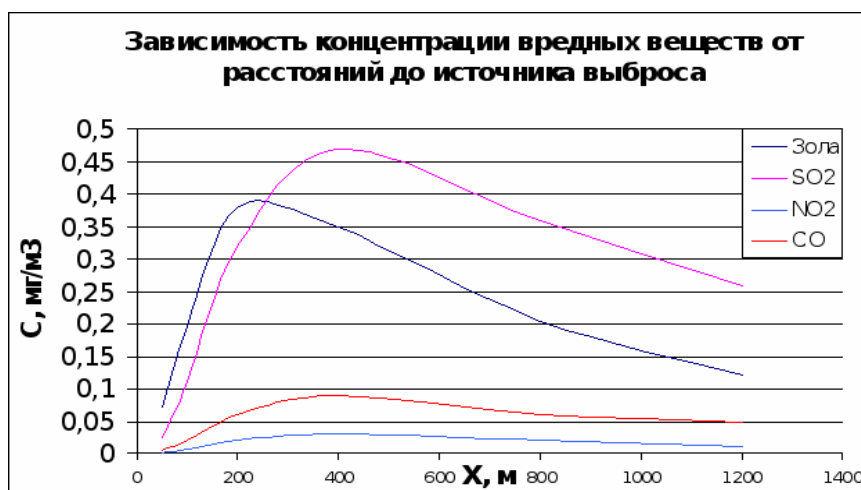


Рис. 2. Зависимость концентрации загрязняющих веществ от расстояния от источника выбросов

Подведём итоги. Основными источниками загрязнений городской среды являются объекты теплоэнергетического комплекса [12]. Именно при сжигании углеводородного сырья отмечается максимальное загрязнение атмосферного воздуха. Значительное участие данной отрасли в процессе загрязнения атмосферного воздуха обусловлено как объёмами сжигаемых продуктов, так и повсеместным распространением объектов энергетики. Немаловажную роль играют

предприятия чёрной и цветной металлургии, которые имеют в своём технологическом режиме плавильные производства. Последствием загрязнения атмосферного воздуха является прежде всего негативное воздействие на состояние здоровья населения. В связи с особенностями рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе основной мерой защиты населения становится создание санитарно-защитных зон вокруг источников теплоснабжения.

### Библиографический список

1. Иваненко Н.В. Экологическая токсикология. Владивосток: ВГУЭС, 2006. 108 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://nashaucheba.ru/v15772/%D0%B8%D0%B2%D0%B0%20\(30.06.2021\)](https://nashaucheba.ru/v15772/%D0%B8%D0%B2%D0%B0%20(30.06.2021)).
2. Khan V.V., Dekanova N.P., Khan P.V. Heat Supply of Villages and Towns of Eastern Siberia. Problems and Ways of Development // Materials Science and Engineering: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (Chelyabinsk, 21–22 September 2017). Chelyabinsk, 2017. Vol. 262. P. 012–081. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012081>
3. Лавыгина О.Л., Гребнева О.А. Природоохранные технологии в системах жилищно-коммунального хозяйства на Байкальской природной территории // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 4. С. 726–733.
4. Lavygina O., Grebneva O., Maizel I. Environmental aspects for the reconstruction of housing and communal services in the village Listvyanka of Irkutsk region // Materials Science and Engineering: International Scientific Conference on Investments, Construction, Real Estate: New Technologies and Special-Purpose Development Priorities. 2019. Vol. 667. P. 012–056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012056>
5. Загрязнение атмосферного воздуха: серия монографий / сост. К. Баркер, Ф. Кэмби, Е.Дж. Кэтокотт. М.: Медгиз, 1962. 468 с.
6. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение: монография. М.: Наука, 2002. 190 с.
7. Будыко М.И. Проблема углекислого газа. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 59 с.
8. Чулков П.В., Чулков И.П. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология. М.: Политехника, 1996. 302 с.
9. Ефимова Н.В., Маторова Н.И., Юшков Н.Н., Никифорова В.А., Перцева Т.Г. Медико-экологические риски современного города: монография. Братск: БГУ, 2008. 200 с.
10. Гриценко А.И., Акопова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. М.: Наука, 1997. 597 с.
11. Спейшер В.А. Обезвреживание промышленных выбросов дожиганием. М.: Энергоатомиздат, 1986. 167 с.
12. Овчинников Л.С. Теплоснабжение. Котельное оборудование. М.: Дизайн ПРО, 2007. 432 с.

Сведения об авторах / Information about the Authors

**Карпиков Александр Владимирович**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры нефтегазового дела,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-  
ская Федерация,  
e-mail: karpikov@istu.edu

**Желонкина Дарья Евгеньевна**,  
студентка группы ВВ6-19-1,  
Институт архитектуры, строительства и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-  
ская Федерация,  
e-mail: d\_zhelonkina@mail.ru

**Alexander V. Karpikov**,  
Cand. Sci. (Technics),  
Associate Professor of Oil and Gas Business De-  
partment,  
Institute of Subsoil Use,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-  
tion,  
e-mail: karpikov@istu.edu

**Daria E. Zhelonkina**,  
Student,  
Institute of Architecture, Construction and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-  
tion,  
e-mail: d\_zhelonkina@mail.ru