



DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-73-81

УДК 614.841.3: 614.833

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИ ПОЖАРАХ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ (НА ПРИМЕРЕ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)

Т.В. Ващалова¹, В.В. Гармышев²

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

² Иркутский национальный исследовательский университет
Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83

На основе обобщения многолетней статистики впервые выполнена количественная оценка загрязнения атмосферы в результате пожаров в жилом секторе регионов Сибирского федерального округа. Натурными наблюдениями установлены: набор экотоксикантов, их среднегодовые объемы, общий объем загрязнения и потерь атмосферного кислорода при пожарах.

Ключевые слова: пожары в жилом секторе, загрязнение атмосферы, экотоксиканты

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферы — один из основных и важнейших способов неблагоприятных и опасных воздействий процессов, происходящих в техносфере, на окружающую природную среду и здоровье населения. Согласно действующим руководящим документам его оценка выполняется на основе сведений об аварийных и штатных выбросах крупных стационарных источников загрязнения и в местах скоплений передвижных.

Включение в нормативные документы рекомендаций по учету воздействий от передвижных источников опирается на признание значимости вклада в суммарное загрязнение атмосферы не только единичных крупных источников, но и большого количества мелких. С учетом этого тезиса представляется важным оценить вклад в загрязнение атмосферы еще одного типа массовых мелких источников — техносферных пожаров.

Обобщение статистических данных Государственной противопожарной службы [1] свидетельствует, что на протяжении последнего десятилетия суммарное число техносферных пожаров в среднем по стране снижалось от 220 тыс. до 140 тыс. случаев. Однако реальное сокращение количества пожаров, скорее всего, меньше, поскольку за этот период менялись критерии отнесения события к «пожару».

Среди всех локализаций техносферных пожаров особое значение имеют пожары в жилом секторе, на долю которых ежегодно в среднем по стране приходится до 69,5% от всех пожаров, 62% ущерба и 85% гибели и травмирования лю-

дей. Жилой сектор фактически является определяющим в динамике частоты пожаров, при этом пожары превратились в значимые факторы не только экономического, социального, но и экологического риска. Возрастающая значимость последнего связана с тем, что в последние 15—20 лет в нашей стране при строительстве, реконструкции и эксплуатации жилых зданий применяются во все возрастающих количествах полимерные и другие синтетические материалы.

Они, а также традиционные строительные, отделочные и другие материалы в процессе горения обеспечивают образование соединений, концентрации которых при залповых выбросах оказываются для людей и окружающей среды опасными и даже смертельными. Среди самых распространенных — оксиды и диоксиды углерода, серы, азота; хлористый водород, углеводороды различных классов, спирты, альдегиды, бензол и его гомологи, полиароматические соединения. К наиболее опасным следует отнести соли и оксиды тяжелых металлов, бенз(а)пирен, диоксины [2].

Сибирский федеральный округ (СФО) — это территория высокой частоты техносферных пожаров. В абсолютном выражении он занимает третье место в РФ (17,3% всех пожаров в среднем за 2011—2015 гг.), уступая Центральному и Приволжскому, а на душу населения — второе, уступая лидерство Дальневосточному [1].

Пожары в жилом секторе СФО составляют 65—77% всех пожаров при среднем по стране значении 69,5%. Тройку лидеров образуют Алтайский край (77,2%), Красноярский край и Кемеровская область (по 72,9%). Меньше всего жилья горит в Республике Тува (65,1%), Иркутской (69,8%) и Новосибирской (69,5%) областях [1].

Непредсказуемый характер места и времени возникновения подобных пожаров не позволяет применить к ним ни одну из ныне действующих методик оценки характера и величины неблагоприятных экологических воздействий.

Целью настоящей публикации является ознакомление заинтересованных коллег с результатами оценки вклада техносферных пожаров в загрязнение атмосферы на региональном уровне, основанной на натуральных исследованиях, анализе специальной литературы и статистики пожаров и их последствий в жилом секторе Сибирского федерального округа за 2003—2015 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основы методики оценки загрязнения атмосферы при техносферных пожарах были заложены Л.К. Исаевой в серии исследований, выполненных в 1990-е гг. [2—4]. Базовым принципом такой оценки был назван сопряженный учет частоты и величины экологически значимых нагрузок характерных для пожаров на объектах определенного типа. Выбросы загрязнителей в атмосферу рассматривались как аварийные, залповые, а оценка количества экотоксикантов выполнялась расчетным путем на основе данных о количественных и качественных характеристиках сгоревших материалов, условиях горения и коэффициенте недожога (т.е. доли горючих веществ, не участвовавших и не сгоревших в процессе горения).

Оценочным результатам, изложенным в настоящем исследовании, предшествовали многолетние натурные и экспериментальные работы В.В. Гармышева

по уточнению состава и количества: а) материалов, сгорающих при пожарах в жилом секторе; б) состава и количества образующихся при пожаре экотоксикантов [5; 6]. Авторская база составляет более 200 случаев реальных пожаров.

В обобщенном виде результаты предваряющих исследований методического характера (табл. 1) послужили основой для последующих расчетов различных характеристик экологических нагрузок в СФО в целом и по регионам.

Таблица 1

Характеристика материалов, сгоревших при пожарах в жилом секторе СФО

| Основные группы сгоревших материалов | Масса сгоревших материалов, т/год |
|--|-----------------------------------|
| 1. Конструкционные и отделочные материалы из древесины или на ее основе, древесное топливо | 142803,6 |
| 2. Отделочные материалы и бытовые предметы из натуральных материалов (хлопок, шерсть, дерево, целлюлоза), сельхозпродукция | 13569,4 |
| 3. Различные синтетические материалы, созданные на основе переработки полициклических ароматических углеводородов | 11557 |
| 4. Первичные (каменный уголь) и вторичные (нефтепродукты) энергоносители | 65,8 |
| 5. Иные изделия и материалы сложного состава | 67,2 |
| Всего | 168 063 |

Table 1

**Characteristics of the materials burnt in fires in the residential sector of the SFD
(average over 2003–2015)**

| The main groups of the burned materials | The mass of the burned materials, t/year |
|---|--|
| 1. Construction and finishing materials from wood or on its basis, wood fuel | 142803,6 |
| 2. Finishing materials and household items made of natural materials (cotton, wool, wood, cellulose), agricultural products | 13569,4 |
| 3. Various synthetic materials based on the processing of polycyclic aromatic hydrocarbons | 11557 |
| 4. Primary (coal) and secondary (oil products) energy | 65,8 |
| 5. Other products and materials of complex composition | 67,2 |
| In total | 168 063 |

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом состава и массы сгоревших материалов (см. табл. 1) и работ [3–5; 7; 8] были определены осредненные удельные выбросы продуктов горения и рассчитаны массы экотоксикантов, выделяемых в атмосферу при пожарах жилым секторе СФО (табл. 2).

Удельные выбросы для разных групп и отдельных веществ изменяются от 10^{-1} до 10^{-9} т на тонну сгоревшего материала. Среди ведущих: диоксид углерода ($1,8 \cdot 10^{-1}$), диоксид кремния ($4 \cdot 10^{-2}$), аморфный углерод ($1,8 \cdot 10^{-2}$). В группе неорганических элементов и соединений удельные выбросы более 1 кг/т характерны для оксидов углерода и азота. Среди органических соединений наибольшие удельные выбросы демонстрируют ацетон и ацетальдегид (2,3/1,4 кг/т). Наимень-

шие удельные выбросы при сгорании пожарной нагрузки жилого сектора (менее 10^{-6} т/т) среди всех, указанных в таблице 2 групп веществ, определены у диоксида серы, пятиоксида ванадия, фосгена, хлора, бутилена и бенз(а)пирена.

Таблица 2

Состав и масса выбросов, поступающих в атмосферу при пожарах на объектах жилого сектора в СФО

| Группы соединений | | Масса выброса, т/год | Итого выбросов, % |
|---|--|----------------------|-------------------|
| Неорганические элементы и соединения | Оксиды (CO; CO ₂ ; NO; NO ₂ ; SO; SO ₂ ; V ₂ O ₅ ; SiO ₂) | 41118,3 | 94,3 |
| | Элементы и не окисные соединения (C; Cl ₂ ; HCl; HCN; H ₂ S; NH ₃ ; COCl ₂) | 1547,9 | 3,5 |
| Альдегиды и кетоны (ацетон, ацетальдегид, акролеин, формальдегид) | | 692,2 | 1,6 |
| Спирты и фенол (аллиловый спирт, пропанол, фенол) | | 34,6 | 0,1 |
| Кислоты органические (уксусная кислота) | | 1,2 | 0,00 |
| Алкены и <i>алкины</i> (пропилен, винилхлорид, бутилен, толуилендиизоцианат, ксилол, креозол, бенз(а)пирен, <i>ацетилен</i>) | | 140,8 | 0,3 |
| Бензольные и <i>небензольные</i> циклические ароматические углеводороды (бензол, нафталин, стирол, толуол, <i>пиридин</i>) | | 89,6 | 0,2 |
| Всего | | 43624,6 | 100 |

Table 2

Composition and mass of emissions released into the atmosphere during the fires in the residential sector in the SFD

| Group of compounds | | Mass emission, t/year | %% of total emissions |
|---|--|-----------------------|-----------------------|
| Inorganic elements and compounds | Oxides (CO; CO ₂ ; NO; NO ₂ ; SO; SO ₂ ; V ₂ O ₅ ; SiO ₂) | 41118,3 | 94,3 |
| | Elements and non-oxide compounds (C; Cl ₂ ; HCl; HCN; H ₂ S; NH ₃ ; COCl ₂) | 1547,9 | 3,5 |
| Aldehydes and ketones (acetone, acetaldehyde, acrolein, formaldehyde) | | 692,2 | 1,6 |
| Alcohol and phenol (allyl alcohol, propanol, phenol) | | 34,6 | 0,1 |
| Organic acids (acetic acid) | | 1,2 | 0,00 |
| Alkenes and <i>alkynes</i> (propylene, vinyl chloride, butylene, toluene diisocyanate, xylene, cresol, Benz (a)pyrene, <i>acetylene</i>) | | 140,8 | 0,3 |
| Benzene and <i>non-benzene</i> cyclic aromatic hydrocarbons (benzene, naphthalene, styrene, toluene, <i>pyridine</i>) | | 89,6 | 0,2 |
| In total | | 43624,6 | 100 |

Таким образом, среднегодовая масса выбросов в атмосферу от пожаров в жилом секторе СФО — 43,6 тыс. т различных экотоксикантов, более 97% которых составляют неорганические элементы и соединения разного агрегатного состояния. Это составляет 0,7% среднегодовой массы выбросов от стационарных источников в регионе [9] и укладывается в интервал оценок долевого вклада техногенных пожаров в загрязнение атмосферы в разных регионах страны [4. С. 20].

Процесс горения любого вещества, материала сопровождается потреблением значительных объемов воздуха, в котором содержится 20,95% кислорода. На основе ранее представленных данных (см. табл. 1) и с учетом сведений, изложенных в работе [10], выполнена количественная (массовая) оценка убыли атмосферного кислорода в результате пожаров в жилых зданиях. Для СФО в целом в среднем за год она составляет более 570 (573,6) тыс. т/год.

Имеющийся в распоряжении авторов фактический материал позволяет охарактеризовать пространственную динамику воздействий на атмосферу пожаров в жилом секторе СФО (табл. 3).

Таблица 3

Распределение по сезонам года и вклад регионов СФО в загрязнение атмосферы и поглощение кислорода при пожарах в жилом секторе
[Table 3. **Distribution by seasons and the contribution of the regions of the SFD to the pollution of the atmosphere and the absorption of oxygen in fires in the residential sector**]

| Регионы [Regions] | Масса выбросов [Mass emission] | | Поглощенный O ₂ , % суммы по СФО [Absorbed O ₂ (% of total absorptions)] | Распределение выбросов по сезонам года, % от суммы по региону [Distribution of emissions by seasons (% of total by region)] | | | |
|--|-----------------------------------|--|---|---|-------------------|------------------|-------------------|
| | т/год [t/year] | % суммы по СФО [% of total emissions] | | Зима [winter] | Весна [spring] | Лето [summer] | Осень [autumn] |
| Респ. Алтай [The Republic of Altai] | 757,5 | 1,7 | 0,6 | 34,9 | 25,4 | 13,6 | 26,1 |
| Респ. Бурятия [The Republic of Buryatia] | 1726,6 | 4 | 1,5 | 36,9 | 23 | 12 | 26 |
| Респ. Тыва [The Republic of Tuva] | 990,3 | 2,3 | 0,8 | 40 | 20 | 13 | 27 |
| Респ. Хакасия [The Republic of Khakassia] | 2471 | 5,7 | 2,2 | 41 | 25 | 12 | 22 |
| Алтайский край [The Altai Krai] | 5627,9 | 12,9 | 14,3 | 38 | 26 | 12,5 | 23,5 |
| Забайкальский край [The Zabaykalsky Krai] | 2884 | 6,6 | 7,1 | 45 | 17,3 | 11,2 | 26,5 |
| Красноярский край [Krasnoyarski Krai] | 6621,3 | 15,2 | 16,9 | 37 | 27 | 8 | 28 |
| Иркутская обл. [Irkutsk oblast] | 6307,1 | 14,5 | 15,8 | 35 | 22,6 | 13,8 | 28,6 |
| Кемеровская обл. [Kemerovo oblast] | 4818,9 | 11 | 12,2 | 35 | 26 | 13,7 | 25,3 |
| Новосибирская обл. [Novosibirsk oblast] | 5271,2 | 12,1 | 13,4 | 34 | 25,6 | 13,4 | 27 |
| Омская обл. [Omsk oblast] | 4215,3 | 9,7 | 10,6 | 33 | 24 | 16 | 27 |
| Томская обл. [Tomsk oblast] | 1933,5 | 4,4 | 4,6 | 36 | 27 | 6,9 | 30,1 |

Понятие «жилой сектор» в пожарной статистике включает в себя не только жилые здания государственного и муниципального назначения, частные дома, юрты, общежития квартирного типа с помещениями для постоянного проживания

ния, но и места временного размещения (кроме гостиниц). К таковым относятся: общежития учебных заведений, садовые дома и вагончики, а также различные хозяйственные постройки (гаражи, бани, беседки, террасы, веранды и др.). Расчеты показывают, что на объекты, функционально связанные с местами временного проживания людей, в СФО происходит около 20—25% пожаров жилого сектора.

Внутригодовое распределение частоты пожаров сходно во всех его регионах. Максимум отмечается в самое холодное время года (декабрь-февраль). Средне-многолетнее количество для округа в целом — более 7900 пожаров. Минимум — летом (несколько более 3000 случаев). Количество осенних и весенних пожаров сопоставимо (5900—5700 случаев).

Частота пожаров в отдельные сезоны года имеет особое значение для части Сибирского а также Дальневосточного федеральных округов. Потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), определяющийся сочетанием приземных температурных инверсий, слабых ветров, осадков и туманов, согласно работе [11], на большей части рассматриваемых регионов относится к высокому и очень высокому. Это означает, что при количестве выбросов, равном с другими регионами, длительность сохранения неблагоприятной или опасной экологической ситуации может увеличиваться на многие проценты и даже в разы.

Среди регионов Сибирского ФО наиболее уязвимыми по этому показателю являются республики Алтай, Тува, Бурятия, Забайкальский край и Иркутская область. В наилучшем положении находятся Омская, Томская, Новосибирская области и часть Алтайского края. Годовой ход величины ПЗА для наиболее уязвимых районов практически полностью повторяет кривую сезонной динамики частоты пожаров. Возможности рассеяния загрязнений от минимума к максимуму изменяются почти в 2 раза [11].

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты позволяют заключить, что залповые валовые выбросы в атмосферу экотоксикантов, образующихся при пожарах в жилом секторе СФО, ежегодно вносят дополнительный вклад в загрязнение атмосферы в среднем до 43,6 тыс. т. Во время этих пожаров уничтожается до 573,6 тыс. т кислорода. Представленные результаты исследований служат одной из первых объективных оценок вклада пожаров в жилье в загрязнение атмосферы.

2. Отсутствие исчерпывающих данных о составе продуктов горения есть одна из причин, которая делает оценку экологических последствий пожаров приближенной. Однако полученный результат заслуживает внимания, поскольку дает объективные ориентиры для выработки оптимальных мер по снижению экологических нагрузок.

3. Представляется актуальным проведение подобных работ для техносферных пожаров на объектах иного типа, а также для природных пожаров, где состав продуктов горения будет иным как качественно, так и количественно. Это позволит доработать методику и рассчитать общий вклад пожаров в загрязнение атмосферы.

5. В настоящее время назрела необходимость в составлении реестра массовых мелких источников загрязнения атмосферы и объективной оценки их вклада. Он, скорее всего, невелик, но будет заметно меняться в пространстве, что вызывает интерес в первую очередь для регионального мониторинга и планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пожары и пожарная безопасность. Статистические сборники. М.: ФГУ ВНИИПО, 2005—2015.
- [2] *Исаева Л.К., Серков Б.Б.* Экологические последствия загрязнения воздуха при пожарах в жилых зданиях / Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. М.: ВИНТИ, 1992. № 2. С. 39—49.
- [3] *Исаева Л.К.* Эколого-экономическая оценка загрязнения окружающей среды при пожарах и авариях. М.: Деп. ВИНТИ № 1718-В98, 1998. 63 с.
- [4] *Исаева Л.К.* Экологические последствия пожаров: дисс. в виде научного доклада ... д-ра техн. наук. М., 2001. 108 с.
- [5] *Гармышев В.В., Хисматулин С.Р., Тимофеева С.С.* Загрязнение атмосферы от пожаров в городских муниципальных образованиях Сибирского федерального округа // Вестник ИрГТУ. 2013. № 13 (74). С. 48—53.
- [6] *Тимофеева С.С., Гармышев В.В., Хисматулин С.Р.* Оценка пожарной и экологической опасности современного жилья городских агломераций Сибирского федерального округа // Вестник ИрГТУ. 2010. № 7 (47). С. 52—56.
- [7] *Брушлинский Н.Н., Исаева Л.К., Маринов С.И.* [и др.]. Эколого-экономические аспекты неуправляемых процессов горения на примере пожаров в зданиях. М.: ВИПТШ, 1998. 12 с.
- [8] *Баратов А.Н.* Пожарная опасность строительных материалов. М.: Стройиздат, 1998. 380 с.
- [9] Регионы России. Социально-экономические показатели. М.: Росстат, 2006—2016.
- [10] *Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К.* [и др.]. Процессы горения. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. 268 с.
- [11] Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Л.: Гидрометеоздат, 1983. С. 77.

© Ващалова Т.В., Гармышев В.В., 2018

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 13.10.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Ващалова Т.В., Гармышев В.В. Загрязнение атмосферы при пожарах в жилом секторе (на примере Сибирского федерального округа) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 1. С. 73—81. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-73-81

Сведения об авторах:

Ващалова Татьяна Владимировна — кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, географический факультет. E-mail: vtv_53@mail.ru

Гармышев Владимир Викторович — кандидат технических наук, докторант Иркутского национального исследовательского технического университета. E-mail: diamant1959@mail.ru

POLLUTION OF THE ATMOSPHERE FROM FIRES IN THE RESIDENTIAL SECTOR (BY EXAMPLE OF SIBERIAN FEDERAL DISTRICT)

T.V. Vashchalova¹, V.V. Garmyshev²

¹ Lomonosov Moscow State University. Faculty of Geography
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

² National research Irkutsk state University
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

On the basis of summarizing many years of statistics performed a quantitative evaluation of atmospheric pollution as a result of fires in the residential sector of the Siberian Federal district regions. Field observations established: a set of toxicants, and their average amounts, the total amount of pollution and loss of atmospheric oxygen at fire.

Key words: fires in the residential sector, pollution of the atmosphere, ecotoxicants

REFERENCES

- [1] Fires and fire safety. Statistical compilations. Moscow: VNIPO, 2005—2013.
- [2] Isaeva L.K., Serkov B.B. Environmental impacts of air pollution from fires in residential buildings. *Problems of safety in emergency situations*. Moscow: VINITI, 1992. № 2. P. 39—49.
- [3] Isaeva L.K. Ecological-economic assessment of environmental pollution in case of fires and accidents. Moscow: Dep. in VINITI № 1718-B98, 1998. 63 p.
- [4] Isaeva L.K. The environmental consequences of fires. Diss. acad. degr. DTS in form of the scientific report. Moscow: Academia GPS MVD RF, 2001. 108 p.
- [5] Garmyshev V.V., Hismatulin S.R., Timofeeva S.S. Air pollution from fires in urban municipal unites of the Siberian Federal district. *Vestnik IrGTU*. 2013. № 13 (74). P. 48—53.
- [6] Timofeeva S.S., Garmyshev V.V., Hismatulin S.R. et al. Social, economic and environmental consequences of fires in the municipal centers of the Siberian Federal district: analysis, evaluation, forecast. Irkutsk: Asprint, 2010. 169 p.
- [7] Brushlinsky N.N., Isaeva L.K., Marinov S.I. et al. Ecological and economic aspects of uncontrolled combustion processes, for example fires in buildings. Moscow: VIPTSh, 1998. 12 p.
- [8] Baratov A.N. Fire hazard of building materials. Moscow: Stroyisdat, 1998. 380.
- [9] The Regions of Russia. Socio-economic indicators. M.: Rosstat, 2006—2016.
- [10] Abduragimov I.M., Androssov A.S., Isaeva L.K. et al. The process of burning. Moscow: VIPTSh MVD SU, 1984. 268 p.
- [11] Climatic characteristics of conditions of distribution of pollutants in the atmosphere. Leningrad: Gidrometisdat, 1983. P. 77.

Article history:

Received: 13.10.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Vashchalova T.V., Garmyshev V.V. (2018) Pollution of the atmosphere from fires in the residential sector (by example of Siberian Federal district). *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 26 (1), 73—81. DOI 10.22363/2313-2310-2018-26-1-73-81

Bio Note:

Vashchalova Tatiana Vladimirovna — candidate of geographical Sciences, associate Professor, senior researcher. Lomonosov State University, faculty of geography. E-mail: vtv_53@mail.ru

Garmyshev Vladimir Viktorovich — candidate of technical Sciences, doctoral student, Irkutsk National Research Technical University. E-mail: diamant1959@mail.ru