

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2024, Том 11, № 3 / 2024, Vol. 11, Iss. 3 <https://resources.today/issue-3-2024.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/06NZOR324.pdf>

DOI: 10.15862/06NZOR324 (<https://doi.org/10.15862/06NZOR324>)

1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чиглинец, И. А. Содержание бензапирена в почве и атмосфере вблизи котельной / И. А. Чиглинец, Е. Н. Чиглинцева // Отходы и ресурсы. — 2024. — Т. 11. — № 3. — URL: <https://resources.today/PDF/06NZOR324.pdf>
DOI: 10.15862/06NZOR324

For citation:

Chiglintsev I.A., Chiglintseva E.N. Benzopyrene content in soil and atmosphere near boiler house. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2024;11(3): 06NZOR324. Available at: <https://resources.today/PDF/06NZOR324.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/06NZOR324

УДК 614.76

Чиглинец Игорь Александрович

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Бирск, Россия
Доцент кафедры «Технологического образования»

Кандидат физико-математических наук

E-mail: schnik@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0692-5373>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=699752

Чиглинцева Евгения Николаевна

ООО «Экомастер», Бирск, Россия

Директор

E-mail: ekomaster990@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1257951

Содержание бензапирена в почве и атмосфере вблизи котельной

Аннотация. В работе рассмотрена котельная, использующая в качестве топлива дрова. Для неё определено количество продуктов горения и вредных веществ таких как оксидов азота, сажи, оксида углерода, взвешенных веществ и бензапирена, образующихся при сжигании 13 т берёзовой древесины в год. Особое внимание уделено содержанию бензапирена, как веществу способному мигрировать из атмосферы в водоёмы, почву и относящемуся к первому классу опасности, тем самым влияющим на качество растительных продуктов, кормов для животных и здоровье человека. Являясь сильным канцерогеном, бензапирен оказывает воздействие на иммунную систему, процессы развития, способен вызывать мутации и передаваться последующим поколениям.

На основе программных средств рассчитаны долгопериодные средние концентрации бензапирена в воздухе в приземном слое на высоте 2 м от поверхности в восьми точках на местности вблизи источника выброса и на границе соответствующей санитарной защите для рассматриваемой котельной. Установлено, что для данного источника выбросов не наблюдается превышение содержания данного вещества в атмосфере, а также показано влияние розы ветров на его рассеивание.

С помощью лабораторных исследований почвы вблизи источника установлено, что концентрация бензапирена за время накопления его в течение 7 лет на землях, предназначенных для сельскохозяйственного использования, не превышает допустимых значений.

Также в работе на основе закона сохранения энергии и рассмотрении теплопередачи от продуктов горения через цилиндрическую стенку в окружающее пространство при поперечном обтекании трубы записаны выражения, позволяющие определить температуру выходящих дымовых газов с учётом их теплофизических свойств, материала трубы и климатических особенностей местности.

Ключевые слова: бензапирен; почва; атмосфера; горение; дрова; концентрация; канцероген

Введение

При горении органического топлива образуются различные вредные вещества в том числе и канцерогенного характера, которые в первую очередь приводят к загрязнению атмосферы, а далее могут привести и к загрязнению почвы, что в свою очередь влияет на состояние окружающей среды и здоровье людей. Основная масса же образующихся веществ при этом приходится на углерод и его соединения. Сажа, состоящая в большей степени из чёрного углерода, образуется при неполном сгорании топлива и способна оказывать сильное влияние на потепление климата. Также при горении могут образовываться и тяжелые металлы, однако, это более характерно для полимерных материалов.

Выделяющиеся вредные вещества при горении способны мигрировать в почву и накапливаться в ней. Так к химическим веществам первого класса опасности, попадающим в почву из выбросов, сбросов и отходов, относятся мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бензапирен [1].

Целью данной работы является определение содержания высокотоксичного соединения бензапирена в атмосфере и уровень его накопления в почве, вблизи котельной, использующей в качестве топлива дрова.

Бензапирен имеет высокую миграционную активность и обладает биоаккумуляцией. Он способен оказывать влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции и здоровье человека. Его переход из атмосферы в почву возможен в результате конденсации продуктов горения, после чего он попадает на поверхность почвы, а также может оседать вместе с частичками сажи, на которых хорошо адсорбируются молекулы данного вещества или выпадать вместе с ними в виде осадков [2; 3]. Уже далее этот канцероген попадает в растительные продукты или корма для животных.

Также высокое содержание бензапирена обнаруживается и в почвах на местах складирования твёрдо-коммунальных отходов (ТКО). В [4] установлено такое превышение содержание данного канцерогена в загрязнённых почвах сельскохозяйственного назначения в 11 из 18 проб. Установлено, что на долю металлургических предприятий приходится до 40 % выбрасываемого бензапирена, на химическую промышленность — 16 %, а на бытовое отопление — 26 % [2]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) для данного вещества¹ в почве составляет 0,02 мг/кг, а предельно допустимая среднесуточная для атмосферы $1 \cdot 10^{-6}$ мг/м³. При этом более высокое значение концентрации бензапирена в почве может

¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

обнаружиться как вблизи источника, так и на довольно удалённом расстоянии от него. Так в [2] установлено, что повышенное его содержание в почвах сельскохозяйственного назначения наблюдается на расстоянии от 1 до 20 км от крупного источника выброса по розе ветров.

Данные факты актуализируют определение меры воздействия бензапирена на среду обитания человека и соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям его содержание особенно вблизи источника выброса. Для этого необходимо наблюдение за количеством выброса бензапирена в атмосферу и накоплением его в почве с течением времени.

Краткая характеристика источника выброса и прилегающей к нему территории

Рассматриваемый источник загрязнения находится на полигоне ТКО на севере республики Башкортостан вблизи с. Мишкино. Климат района континентальный, с продолжительной зимой, тёплым, иногда жарким летом с резкими колебаниями температуры воздуха по сезонам года и в течение суток.

Рельеф местности холмистый с общим незначительным уклоном на восток. Имеются овраги, встречаются карстовые провалы, местами заболоченные и зарастающие кустарником. Основной фон почвенного покрова территории района составляют почвы типа серых лесных.

Климатические характеристики приняты по месту расположения г. Бирска, который находится в пределах 50 км от источника выброса, что вполне допускается техническим регламентом. Метеорологические параметры исследуемого объекта показаны на основе данных главной геофизической обсерваторией имени А.И. Воейкова по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Башкортостан.

Таблица 1

Средняя месячная и годовая температура воздуха

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
t, °C	-13,7	-13,0	-6,3	4,0	12,4	17,3	19,0	16,9	11,1	3,2	-5,0	-11,2	2,9

Источник: <https://docs.cntd.ru/document/1200081635>

Видно, что годовая амплитуда между средними температурами июля (+19,0°C) и января (-13,7°C) равна 32,7°C. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C весной наблюдается в апреле, а осенью в конце октября.

Далее представлены данные средней скорости ветра за год в зависимости от направления. Видно, что наиболее сильные ветра со скоростью почти 5 м/с имеют направление с юга на север.

Таблица 2

Средняя скорость ветра за год по направлениям

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
w, м/с	3,2	3,6	2,9	3,7	4,9	3,9	3,5	3,2

Источник: <https://docs.cntd.ru/document/1200081635>

Ниже представлены сведения о доле различных направлений ветров на рассматриваемой местности, из которых следует, что ветер с юга дует чаще всего.

Источник выброса находится на объекте, относящемуся ко II классу опасности, который должен иметь санитарно-защитную зону (СЗЗ) равную 500 м.²

² Приложение. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (новая редакция) <https://base.garant.ru/12158477/b89690251be5277812a78962f6302560/> (Дата обращения 02.06.2024).

Таблица 3

Среднегодовая роза ветров

Направление	Величина, %
С	13,7
СВ	3,2
В	10,1
ЮВ	8,8
Ю	28,3
ЮЗ	10
З	18,8
СЗ	7,1
Количество повторяемость штилей	10

Источник: <https://docs.cntd.ru/document/1200081635>

Для котельной как для промышленных объектов и производств, не включенных в санитарную классификацию, а также с новыми, недостаточно изученными технологиями, не имеющими аналогов в стране и за рубежом, размер санитарно-защитной зоны устанавливается в каждом конкретном случае Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации, если в соответствии с расчётами ожидаемого загрязнения атмосферного воздуха и физического воздействия на атмосферный воздух они относятся к I и II классам опасности, в остальных случаях — Главным государственным санитарным врачом субъекта Российской Федерации или его заместителем.

Рассмотрим прилегающую местность в районе расположения источника загрязнения, который на (рис. 1) обозначен точкой чёрного цвета:

- с южной, западной стороны прилегает поле, лес;
- с северной стороны прилегает поле, лес, в 1 200 м находится территория асфальтобетонного завода;
- с восточной стороны в 1 443 м находятся жилые дома;
- с юго-восточной стороны в 1 022 м находятся жилые дома;
- с северо-восточной стороны в 750 м находятся жилые дома.



Рисунок 1. Карта-схема размещения источника выбросов от котельной (источник: <https://yandex.ru/maps/>)

Таким образом от территории полигона до ближайшего жилого дома расстояние составляет 750 м и в границах нормативной СЗЗ жилая застройка не располагается, однако, в пределах данной границы находятся земли для сельскохозяйственного и животноводческого использования. В данной работе рассматривается дровяной котёл, который предназначен для обогрева административно-бытового корпуса. В течении года за фактическое время работы 2016 часов котельная расходует 13 т топлива. Таким образом в перечень основных выбрасываемых загрязняющих веществ в атмосферу от источника входят: оксиды азота (IV, II), оксид углерода, углерод (сажа), бензапирен, взвешенные вещества. Пылеегазоочистное оборудование на источнике отсутствует. Выбросы осуществляются через стальную трубу высотой 8 м и диаметром устья 0,15 м. Залповые и аварийные выбросы загрязняющих веществ не предусмотрены. Сама котельная функционирует с 2016 г.

Методы и результаты исследований

Произведём расчёт выбросов загрязняющих веществ, образующихся в котельной с использованием программы «Котельные до 30 т/час» версия 3.4.56 от 24.07.2017 фирмы «Интеграл» на основе методик³, рассматривая слоевое сжигание твёрдого топлива в виде дров в отсутствие золоуловителей при вышеуказанном расходе топлива. В результате получаем значения показанные в таблице 4.

Таблица 4

Количество выбросов от котельной

Код	Наименование выброса	Максимально-разовый выброс, г/с	Валовый выброс, т/год
0301	Азот (IV) оксид (Азота диоксид)	0,0005410	0,003926
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,0000879	0,000638
0328	Углерод (Сажа)	0,0112253	0,081469
0337	Углерод оксид	0,0359505	0,260915
0703	Бенз/а/пирен (3, 4-Бензпирен)	0,00000209587	0,00001519888
2902	Взвешенные вещества	0,0026868	0,019500

Составлено авторами

В ходе инвентаризации объекта установлено, что единственным источником, дающим наибольший вклад в загрязнение атмосферы бензапиреном (100 %) по максимально разовым концентрациям на территории полигона, является только котельная. Рассмотрим далее приземные концентрации данного вещества в районе расположения источника выброса. Для этого расчёта кроме метеорологических параметров представленных выше необходимо дополнительно определить также объёмный расход продуктов сгорания древесины и их температуру на выходе из трубы котельной.⁴

³ «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час», Москва, 1999. Утверждена Госкомэкологии России 09.07.1999 г.

Методическое письмо НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17.05.2000 "О проведении расчетов 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».

Методическое письмо НИИ Атмосфера № 838/33-07 от 11.09.2001 «Изменения к методическому письму НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17.05.2000».

Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное), НИИ Атмосфера, Санкт-Петербург, 2012 г.

⁴ Приказа Минприроды РФ от 6 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

В качестве топлива рассмотрим берёзовые дрова. Согласно [5; 6] данная древесина в своём составе имеет: 48,6 % — С, 6,4 % — Н₂, 45 % — О₂, 1,12 % — N₂. Влажность заготовленных колотых дров с корой через полгода их хранения под навесом снизится с 45 % до 28,97 % [5]. Тогда согласно [7], принимая во внимание незначительное содержание серы в дровах получим следующие теоретические (минимальные) объёмы продуктов сгорания, соответствующие нормальным условиям: $V_{H_2O} = 1,166 \text{ м}^3/\text{кг}$, $V_{CO_2} = 0,9376 \text{ м}^3/\text{кг}$, $V_{N_2} = 4,7696 \text{ м}^3/\text{кг}$. Учитывая, что процесс горения идёт с избытком кислорода, то согласно методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час $\alpha_T = 1,4$, а температура отходящих газов на входе в трубу⁵ равна $T_{вх} = 130^\circ\text{C}$ значение объёмного расхода продуктов горения при соответствующем потреблении топлива составит $Q_v = 0,0242 \text{ м}^3/\text{с}$. Если считать сечение трубы по высоте одинаковым, то скорость дымовых газов будет равна $w_T = 1,37 \text{ м/с}$.

Далее определим температуру выходящих продуктов горения принимая во внимание климатические особенности местности и параметры трубы. Для этого рассмотрим схему изображённую на рисунке 2.

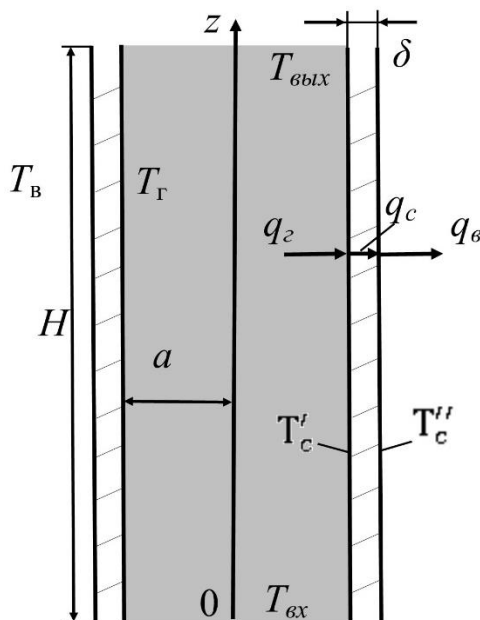


Рисунок 2. Схема трубы выброса продуктов горения и тепловых потоков (составлено авторами)

На данном рисунке H — высота трубы котельной по которой движутся продукты горения; $T_{вх}$, $T_{вых}$ — температура дымовых газов на входе в трубу и выходе из неё; $T_{г}$, $T_{в}$ — температура газа в трубе и окружающего воздуха; T'_c , T''_c — температура внутренней и внешней поверхности трубы; q_z , q_c , q_v — тепловые потоки от дымовых газов ко внутренней стенке трубы, по стенке самой трубы и от внешней поверхности трубы в окружающий воздух соответственно; δ — толщина стенки трубы; a — радиус трубы; z — координата отсчитываемая от места входа дымовых газов. Будем считать, что по мере движения продуктов горения по трубе конденсация паров воды не происходит, тогда пренебрегая действием сил трения запишем уравнение сохранения энергии в виде:

$$m_c c_z \frac{dT_z}{dz} = -2\pi a q_z. \quad (1)$$

⁵ ГОСТ 2127-47 «Печи отопительные теплоемкие. Нормы проектирования».

Здесь c_r , T_r — удельная теплоёмкость и температура продуктов горения; q_Σ — общая интенсивность теплопередачи от потока дымовых газов через стенку трубы в окружающий воздух, приходящаяся на единицу площади.

Тепловые потоки, идущие от дымовых газов в трубе через цилиндрическую стенку в окружающее пространство (рис. 2), зададим в виде [8; 9]:

$$\begin{aligned} q_z &= \beta_z(T_z - T'_c), q_c = \beta_c(T'_c - T''_c), q_\delta = \beta_\delta(T''_c - T_\delta), \\ \beta_z &= \frac{\lambda_z Nu_z}{2a}, \beta_c = \frac{\lambda_c}{\delta_c}, \beta_\delta = \frac{\lambda_\delta Nu_\delta}{H}, \\ q_\Sigma &= q_z = q_c = q_\delta, \\ \frac{1}{\beta_\Sigma} &= \frac{1}{\beta_z} + \frac{1}{\beta_c} + \frac{1}{\beta_\delta}, \\ q_\Sigma &= \beta_\Sigma(T_z - T_\delta). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь Nu_r и Nu_v числа Нуссельта, которые характеризуют конвективные тепловые потоки от продуктов горения в трубе к внутренней стенке трубы и от внешней её стенки к окружающему воздуху. Чтобы задать первое число будем рассматривать турбулентное течение дымовых газов в круглой трубе, а последнее рассматривая поперечное обтекание одиночного цилиндра воздухом. Тогда можем записать следующие выражения [9]:

$$Nu_z = 0,023 Pr^{0,24} Re^{0,8}, Nu_\delta = C Pr^n Re_\delta^{0,8}, \quad (3)$$

где $Re_v = \frac{w_v D_{экв2}}{\nu_v}$; $Re = \frac{w_r D_{экв1}}{\nu_r}$; Pr — число Прандтля; w_v , w_r — скорость ветра, обтекающего трубу и продуктов горения в самой трубе; $D_{экв1,2}$ — эквивалентный внутренний и внешний диаметр трубы соответственно; ν_v , λ_v — кинематическая вязкость воздуха и его теплопроводность; ν_r , λ_r — кинематическая вязкость и теплопроводность продуктов горения; λ_c , δ_c — теплопроводность стенки трубы (сталь) и её толщина; n — показатель степени значение которого равно $n = 0,35$ [9]; C и m — коэффициенты, зависящие от числа Рейнольдса и формы цилиндра. Исходя из данных (табл. 2, 3) будем рассматривать южный ветер, как наиболее часто реализуемый, скорость которого равна $w_v = 4,9$ м/с. Тогда согласно [9] значения коэффициентов будут равны $C = 0,026$, $m = 0,8$.

Проинтегрировав выражение (1) можно получить формулу для определения температуры продуктов горения на выходе из трубы в виде:

$$T_{вых} = T_{вх} - \frac{2\pi a q_\Sigma H}{m_z c_z}. \quad (4)$$

Считая, что скорость обтекания воздухом будет постоянной и одинаковой по всей высоте трубы котельной, а также взяв для неё $\lambda_c = 86$ Вт/м·К, $\delta_c = 0,01$ м, $H = 7$ м (учитывая высоту котла от земли) и приняв значения рассматриваемых теплофизических параметров для воздуха и продуктов горения [9; 10], получим $q_\Sigma = 53,9$ Вт/м², $T_{вых} = 125,01^\circ\text{C}$. При расчёте средняя температура воздуха определялась с октября по апрель включительно из таблицы 1 и была равна -6°C .

Далее найдём уровень загрязнения воздушного бассейна в районе расположения объекта, который определяется на основе расчётов максимальных долгопериодных средних концентраций загрязняющих веществ в воздухе от выбросов предприятия в приземном слое. Рассматриваемый период в расчёте равен одному году. Расчёт проведён с использованием комплексной программы «УПРЗА-ЭКОЛОГ» версия 4.60 и «Средние» разработанные ООО «Фирма «Интеграл». Для этого использовались данные (табл. 3, 4), а также

вышеприведённые расчёты по объёмам образования продуктов горения и температуры выходящих газов. Также для определения условий рассеивания примем высоту источника выброса равной 8 м, коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы $A = 160$, коэффициент рельефа местности 1, скорость ветра, наблюдаемая на данной местности, повторяемость превышения которой находится в пределах 5 % равной $U^* = 7$ м/с.

Определение координат источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу осуществлялось в системе координат МСК-02 (зона 1). Принятая координатная сетка ориентирована осью ОУ на север. Расчётная область $1\,680 \times 1\,700$ м. Шаг сетки 20×20 м.

Таблица 5

Положение расчётных точек

№	Координаты точки (м)		Расстояние от источника выброса (м)	Тип точки	Комментарий
	X	Y			
1	1 355 847,64	748 465,80	500	на границе СЗЗ	Север
2	1 355 225,29	747 698,03	500	на границе СЗЗ	Восток
3	1 356 486,72	748 010,57	500	на границе СЗЗ	Юг
4	1 355 984,38	747 288,58	500	на границе СЗЗ	Запад
5	1 355 739,60	748 016,50	79	точка пользователя	Север, точка на месте отбора пробы почвы
6	1 355 997,90	747 943,50	285	точка пользователя	Восток, точка на месте отбора пробы почвы
7	1 355 876,80	747 768,30	233	точка пользователя	Юг, точка на месте отбора пробы почвы
8	1 355 454,90	747 659,20	318	точка пользователя	Запад, точка на месте отбора пробы почвы

Составлено авторами

В расчёте было заложено 8 точек координаты которых указаны в таблице 5. В результате были получены долгопериодные средние концентрации бензапирена в воздухе на высоте 2 м от земли, которые показаны на рисунке 3.

На рисунке 3 точкой чёрного цвета обозначен источник выброса, зелёный и красный цвет обозначают рассчитанные концентрации бензапирена в атмосфере на границе СЗЗ и в точках, которые совпадают с местом расположения отбора проб почвы соответственно. Синяя линия показывает границу СЗЗ, чёрная территорию полигона.

Видно, что в юго-западном направлении, в месте, наиболее удаленном от источника выброса (расчётная точка № 8), где производился отбор проб почвы, концентрация бензапирена в воздухе составляет 0,0013 ПДК, а вместе наиболее близком (расчётная точка № 5) в северном направлении — 0,0173 ПДК.

Таким образом, превышение ПДК в атмосфере не наблюдается. Также по результатам расчёта можно сказать, что наибольшее содержание бензапирена в атмосфере наблюдается в северном направлении (точки № 1, 5), что вполне согласуется с розой ветров на данной местности.

Расчётные точки красного цвета на рисунке 3 в месте отбора проб почв располагаются на землях сельскохозяйственного назначения, используемых для сенокошения и выпаса скота. Проведённые лабораторные исследования стандартными методами экологического мониторинга, данных проб по определению содержания бензапирена в почве Испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Башкортостан» (уникальный номер записи об аккредитации № РОСС RU.0001.510408) показали, что содержание бензапирена менее 0,005 мг/кг во всех пробах, что не превышает ПДК для рассматриваемого химического вещества согласно гигиеническим нормативам.

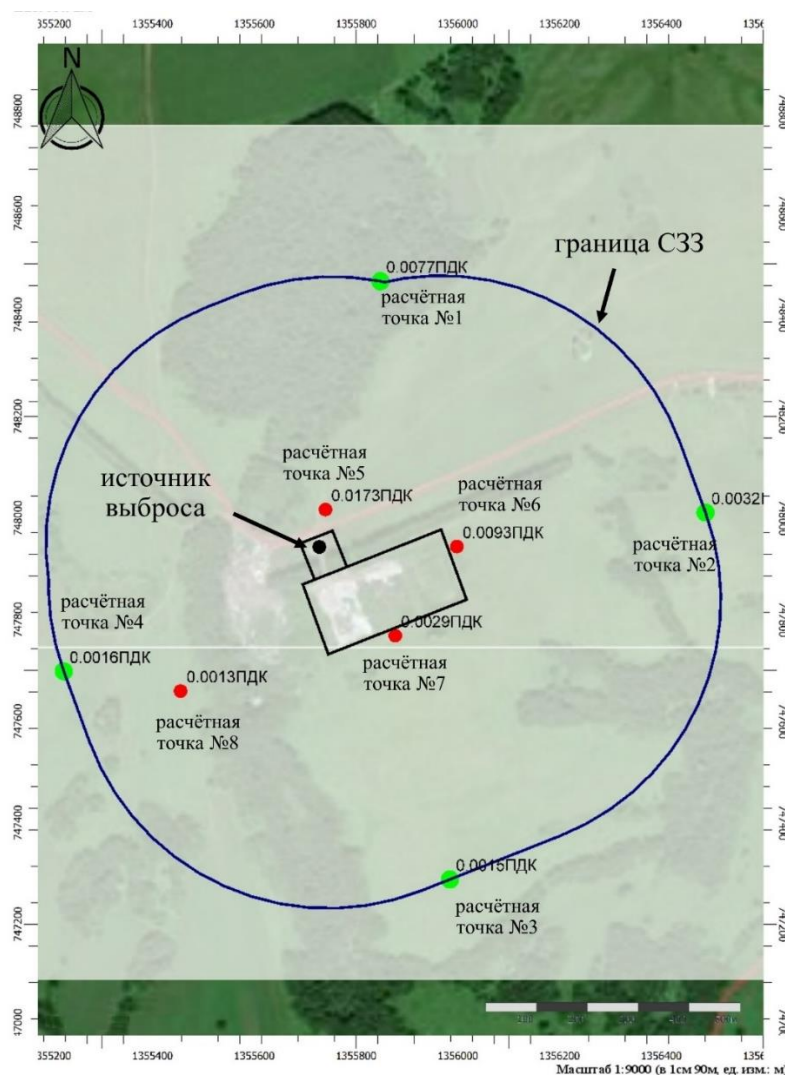


Рисунок 3. Долгопериодные средние концентрации бензапирена в долях ПДК в атмосфере вблизи источника выброса (составлено авторами <https://yandex.ru/maps/>)

Обсуждение результатов и выводы

В работе произведён расчёт количества выбросов от котельной. Анализ результатов загрязнения атмосферного воздуха показал, в частности, что концентрации бензапирена, поступающего в атмосферу от источника загрязнения в виде котельной на дровах, не превышает гигиенические нормативы ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест и соответствуют требованиям. При этом на границе СЗЗ наибольшая долгопериодная средняя концентрация бензапирена 0,0077ПДК соответствует точке № 1 в северном направлении. В местах отбора проб почв наибольшая концентрация бензапирена равна 0,0173ПДК в точке № 5. Таким образом средние концентрации бензапирена по рассмотренным точкам не превышают 1 ПДК.

Лабораторные исследования проб воздушно сухой почвы также не выявил превышения ПДК бензапирена накопленного в почве за 7 лет работы котельной на данной местности.

Таким образом в результате проведённого исследования можно сделать вывод о том, что концентрация бензапирена как в атмосфере, так и в почве вблизи рассматриваемой котельной на дровах не несёт в себе серьёзной опасности.

Также в работе на основе закона сохранения энергии записаны выражения позволяющие определить изменение температуры выходящих продуктов горения из стальной трубы котельной. Так для рассматриваемой местности в текущих условиях это значение составило почти 5°C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушакова, Е.С. Экологическое состояние почв промышленных территорий (на примере г. Березники, Пермский край): сравнение отечественных и зарубежных методов оценки / Е.С. Ушакова, Т.И. Караваева, П.А. Белкин. — Текст: электронный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331, № 10. — С. 58–70. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskoe-sostoyanie-pochv-promyshlennyh-territoriy-na-primere-g-berezniki-permskiy-kray-sravnenie-otechestvennyh-i> (дата обращения 3.07.2024)
2. Бутенко, Г.С., Содержание 3,4-бенз(а)пирена в почвах техногенно загрязненных территорий / Г.С. Бутенко, Д.Е. Полонская. — Текст: электронный // Вестник КрасГАУ. — 2012. — № 7. — С. 86–90. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-3-4-benz-a-pirena-v-pochvah-tehnogenno-zagryaznennyh-territoriy> (дата обращения 4.07.2024).
3. Воробьева, К.Ю. Бенз(а)пирен и нефтепродукты в почвенном покрове населенных пунктов разного статуса в Самарской области / К.Ю. Воробьева, Н.В. Прохорова. — Текст: электронный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2017. — Т. 19, № 2-2. — С. 239–243. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/benz-a-piren-i-nefteprodukty-v-pochvennom-pokrove-naselennyh-punktov-raznogo-statusa-v-samarskoy-oblasti> (дата обращения 3.07.2024).
4. Верховец, И.А. Загрязнение нефтепродуктами и бензапиреном почв несанкционированных свалок / И.А. Верховец, Л.Е. Тучкова, А.И. Дедкова, О.С. Никитенко, О.П. Чернова. — Текст: электронный // Вестник аграрной науки, 2(101). — 2023. — С. 12–18. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-nefteproduktami-i-benzapirenom-pochv-nesanktsionirovannyh-svalok> (дата обращения 1.09.2024).
5. Козлов, В.Н. Технология пирогазетической переработки древесины / В.Н. Козлов, А.А. Нимвицкий. — Москва: ГОСЛЕСБУМИЗДАТ, 1954. — 619 с.
6. Никитин, Н.И. Химия древесины и целлюлозы / Н.И. Никитин. — Москва: Издательство академии наук СССР, 1962. — 711 с.
7. Тепловой расчёт котлов (нормативный метод) / А.А. Абрютин, Э.С. Карасина, Р.А. Петросян [и др.]; Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт, Научно производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования имени И.И. Ползунова. — Санкт-Петербург: НПО ЦКТИ, 1998. — 261 с.
8. Чиглинцев, И.А., Насыров А.А. Моделирование процесса наполнения купола-сепаратора с разложением газогидрата, образовавшегося в период монтажа установки / И.А. Чиглинцев, А.А. Насыров. — Текст: непосредственный // Инженерно-физический журнал. — 2016. — Т. 89, № 4. — С. 851–860.

9. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. — Москва: Атомиздат, 1979. — 415 с.
10. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. — Москва: Энергия, 1977. — 345 с.

Chiglintsev Igor Alexandrovich

Ufa University of Science and Technology, Birsik, Russia

E-mail: schnik@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0692-5373>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=699752

Chiglintseva Evgenia Nikolaevna

LLC Ecomaster, Birsik Russia

E-mail: ekomaster990@yandex.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1257951

Benzopyrene content in soil and atmosphere near boiler house

Abstract. The paper considers a boiler house using firewood as fuel. The amount of combustion products and harmful substances such as nitrogen oxides, soot, carbon monoxide, suspended solids and benzopyrene formed during the combustion of 13 tons of birch wood per year is determined for it. Particular attention is paid to the content of benzopyrene as a substance capable of migrating from the atmosphere into water bodies, soil and belonging to the first hazard class, thereby affecting the quality of plant products, animal feed and human health. Being a strong carcinogen, benzopyrene affects the immune system, development processes, is capable of causing mutations and being transmitted to subsequent generations.

Based on software, long-term average concentrations of benzopyrene in the air in the ground layer at a height of 2 m from the surface at eight points on the ground near the emission source and at the boundary of the corresponding sanitary protection for the boiler house under consideration were calculated. It was found that for this emission source, no excess of the content of this substance in the atmosphere is observed, and the influence of the wind rose on its dispersion is shown. Using laboratory studies of the soil near the source, it was found that the concentration of benzopyrene during its accumulation over 7 years on lands intended for agricultural use does not exceed the permissible values.

Also, in the work, based on the law of conservation of energy and consideration of heat transfer from combustion products through a cylindrical wall into the surrounding space during transverse flow around the pipe, expressions are written that allow determining the temperature of the outgoing flue gases taking into account their thermophysical properties, pipe material and climatic features of the area.

Keywords: benzopyrene; soil; atmosphere; combustion; firewood; concentration; carcinogen