

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ СТРОЕНИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА)

В.Р. Битюкова¹, В.С. Дехнич², А.И. Кравчик³, Н.С. Касимов⁴

^{1,3,4} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет*

² *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Казахстанский филиал, кафедра экологии и природопользования*

¹ *Кафедра экономической и социальной географии России, проф., д-р геогр. наук; e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru*

² *Ст. преподаватель, канд. геогр. наук; e-mail: vodo.ast@gmail.com*

³ *Кафедра экономической и социальной географии России, магистрант; e-mail: nastya.kravchik@gmail.com*

⁴ *Кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, академик, д-р геогр. наук; e-mail: nskasimov@geogr.msu.ru*

В статье предложена методика расчета объема выбросов в атмосферу от автономных систем отопления (АСО) индивидуальных жилых строений на основе оценки количества и площади подворий с применением данных дистанционного зондирования, объема, вида использованного топлива и типа источника сжигания по данным опросов населения и администраций муниципальных районов и поселений. Оценка значимости АСО как источника загрязнения атмосферы проведена на трех масштабных уровнях: по структуре потребления топлива выделены регионы России, в которых наибольшее значение имеют используемые населением теплоагрегаты; в разрезе муниципальных образований для Байкальской природной территории рассчитан объем выбросов от печного топлива, выделены типы территорий по структуре источников выбросов и для населенных пунктов проведена оценка роли АСО в загрязнении жилой зоны. Выявлено, что сжигание печного топлива является доминирующим источником выбросов (свыше 90%) для большей части Байкальского региона. Выбросы индивидуальных жилых строений при использовании угля и дров, в отличие от ТЭЦ и котельных, в большинстве случаев приводят к значительному воздействию на качество атмосферного воздуха (до 4,9 ПДК твердых частиц и диоксида серы), причем ареалы такого воздействия ограничены жилой зоной населенных пунктов. Стратегии снижения загрязнения определяются положением территории, характером расселения, уровнем доходов, сложившейся структурой потребления топлива, наличием разрабатываемых месторождений угля и другими факторами.

Ключевые слова: печное топливо, Байкал, ТЭЦ, котельные, ареалы рассеяния выбросов

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.2

ВВЕДЕНИЕ

Автономные системы отопления (АСО) могут вносить значительный вклад в уровень загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов. Используемые для отопления жилищ печи и котлы являются источником около 40% мировой эмиссии монооксида углерода [Energy..., 2016], менее 10% общемирового объема присутствующих в окружающей атмосфере $PM_{2.5}$. Около половины этого объема приходится на бытовое отопление с использованием биомассы, а большая часть образуется в результате сжигания угля для целей бытового отопления [Отопление..., 2014]. Сжигание топлива как фактор загрязнения атмосферы, изменения климата и влияния на здоровье населения исследовано на разном масштабе: по странам [Perera, 2018], регионам [Тикунов и др., 2017], городам [Cheng et al., 2019], как модельное исследование для одного дома [Fadel et al., 2022] и в наименьшей

степени по муниципальным образованиям (МО), в основном моделируя вклад источников из-за недостаточной статистической обеспеченности [Garland et al., 2008; Padoan et al., 2020].

Объем потребления топлива в России составляет около 1200 млн тонн условного топлива (т.у.т.) (2021), из которых 30% расходуется на производство электроэнергии, 37% используется в качестве сырья для производства другого топлива (в основном, бензина и дизельного топлива) и 20% – конечное потребление в отраслях народного хозяйства, в том числе промышленность (9%) и население (8%) имеют примерно равный вклад. Население использовало 78 млн т.у.т. природного топлива, 54 млн т.у.т. продуктов переработки топлива и около 70 млн т.у.т. тепловой энергии [Сведения..., 2022].

В России от сжигания топлива ежегодно выбрасывается 4,3 млн т загрязняющих веществ, или 33%

валового выброса от стационарных источников, в том числе 22% – производство электроэнергии, 11% – сжигание топлива для обеспечения теплом населения и технологических процессов в промышленности [Информация..., 2022]. В малых городах и сельских населенных пунктах теплоснабжение обеспечивают котельные и локальные отопительные установки. Печи и котлы в частных домах – конструктивно самый простой вариант, но при этом наименее экологичный. Так, на ТЭЦ и ГРЭС улавливается до 90% загрязняющих веществ, из отходящих газов котельных – до 20% [Информация..., 2022].

Доля общей площади жилищного фонда, использующей АСО в стране, составляет 38%, в республиках Северного Кавказа, в Калмыкии и на Алтае эта доля в 1,5–2 раза выше. Однако в большинстве этих регионов уровень газификации превышает 80% [Благоустройство..., 2022]. Основные проблемы возникают в регионах, в которых значительна доля площади, использующей АСО на угле и дровах, а уровень газификации близок к 0. Так, в республиках Алтай и Тыва эта доля составляет 70–82%, в Бурятии – 52, в Забайкальском крае – 48, в Иркутской области – 33% (рис. 1).

Байкальская природная территория (БПТ) обладает особым охранным статусом и, исходя из особенностей и значимости факторов влияния на уникальный природный объект, делится на три зоны. Центральная экологическая зона (ЦЭЗ) расположена в непосредственной близости от озера; буферная зона, включающая водосборный бассейн, – преимущественно на восточном берегу; зона атмосферного загрязнения – на западном. В ЦЭЗ не только запрещены некоторые виды деятельности, но и ликвидированы крупные источники промышленного воздействия, а влияние автотранспорта, небольших котельных и АСО меняется по сезонам из-за летнего туристического потока и сжигания топлива в осенне-зимний период [Антонов и др., 2022].

Несмотря на опасность загрязнения приземного слоя атмосферы в зоне жилой застройки при сжигании топлива в АСО, выбросы от них в статистике не учитываются. Если ТЭЦ и котельные отчитываются перед органами Росприроднадзора об объемах и структуре выбросов, то выбросы от АСО можно рассчитать только на основе нормативных методик расчета загрязнения. Данные системы очень важно учитывать, поскольку они не оборудованы системами очистки, и выбросы от них рассеиваются на меньшей высоте, в результате создаются большие концентрации загрязняющих веществ [Карелин и др., 2019].

В настоящее время методика оценки масштабов загрязнения от АСО отсутствует по ряду причин: нет точных данных о количестве домовладений, не обеспеченных централизованным теплоснабжением, о количестве и виде топлива, используемого на-

селением, типе индивидуальных теплоагрегатов. Из-за сложности оценки объемов выбросов АСО не включаются в так называемые сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха¹ либо оцениваются с существенными неопределенностями [Волкодаева и др., 2023]. Из-за недостаточности первичных данных для моделирования рассеивания выбросов от АСО расчеты загрязнения приземного слоя атмосферы проводят для ограниченного числа источников [Толстова, Овчинников, 2020].

Исследования влияния АСО во многом сводятся к технологическим аспектам, классификации современных котельных агрегатов [Соколов, 2011], оценке эффективности таких систем в малоэтажном загородном строительстве [Иванов, 2011; Драбкина, Елсуков, 2019]. На основе лабораторных исследований сравниваются удельные выбросы при использовании разных видов топлива [Любов и др., 2019; Отопление..., 2014], дается характеристика микроэлементного состава образцов бурых теплоэнергетических углей при сжигании в АСО, рассматриваются выбросы CO, SO₂, NO_x, С, металлов [Михайлюта, Леженин, 2022]. Исследование почв в зоне влияния разных типов источников в Улан-Баторе (Монголия) показало, что низкотемпературное сжигание угля формирует слабоконтрастные аномалии Cu и Zn в районах юрточной застройки, в то время как в промышленной зоне вблизи ТЭЦ наблюдались аномалии As, Cr и Mo [Кошелева и др., 2010]. Как источник канцерогенного риска для человека рассматриваются выбросы ПАУ и их производных при сжигании углей [Household, 2010].

Другая линия изучения АСО – сравнение методик и нормативов расчета удельных выбросов. Например, обзор 12 методик по результатам расчета выбросов NO₂ показал низкую сходимость результатов расчетов [Костылева и др., 2021, с. 111]. Для оценки выбросов от АСО в пределах какой-то территории важно определить количество и площадь использующих их домовладений. Цель данной работы – разработка алгоритма расчета объемов выбросов в атмосферу от автономных систем отопления и оценка их роли в муниципалитетах БПТ и в сельских населенных пунктах ЦЭЗ, а также выявление особенностей рассеивания выбросов при сжигании топлива в АСО по сравнению с другими типами источников.

¹ Сводные расчеты – важный инструмент государственного управления в области охраны атмосферного воздуха, порядок которых утвержден Приказом Минприроды РФ от 29 ноября 2019 года № 813. Результаты их проведения представляют собой обобщенные сведения о концентрациях загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на территории населенного пункта или его части, полученные с использованием методов расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Их проведение необходимо для включения территорий в нацпроект «Чистый воздух».

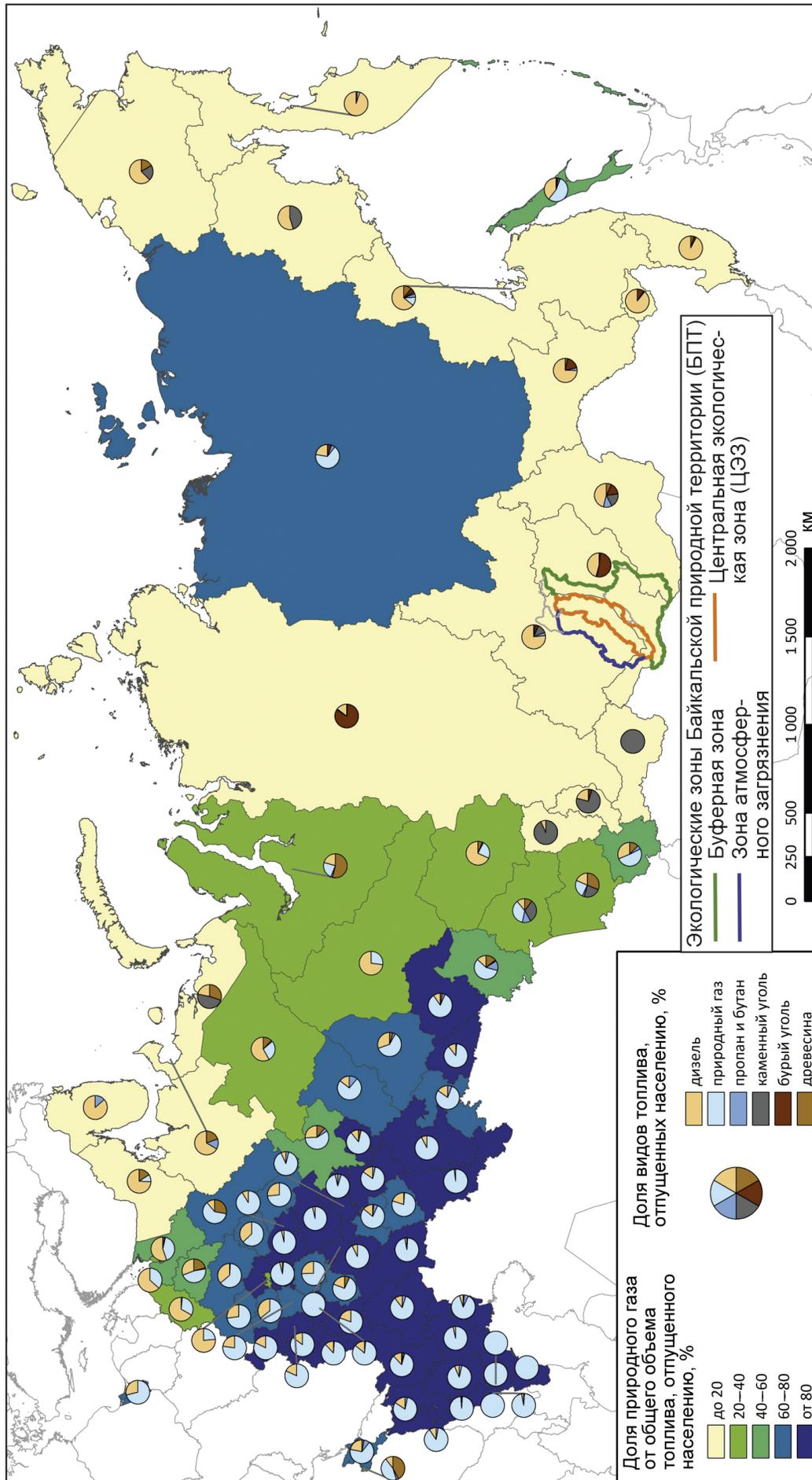


Рис. 1. Доля видов топлива, отпускаемых населению по субъектам России, 2020 г.
 Fig. 1. The share of fuel types sold to the population by constituent entities of Russia, 2020

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В расчетах использовались следующие данные:

- перечень МО 1-го и 2-го уровней, входящих в состав БПТ и населенных пунктов в ЦЭЗ [Экологический..., 2022] и данные OpenStreetMap о местоположении населенных пунктов;
- спутниковые снимки Sentinel-2, Махар (предоставлены сервисом Google Earth) для автоматического и визуального дешифрирования зон индивидуальной застройки и подсчета количества подворий;
- сервис «Яндекс.Панорамы» для визуальной проверки и коррекции результатов автоматического дешифрирования;
- данные о жилой площади в разрезе муниципалитетов [Показатели..., 2022];
- опросы глав и специалистов администраций в 32 муниципальных районах, 57 сельских поселениях и населения в 125 населенных пунктах БПТ использовались для определения видов топлива, используемого в АСО жилых строений, а также для оценки среднего потребления топлива на 1 м² жилой площади;
- для верификации методов определения числа индивидуальных жилых строений и расчета выбросов от АСО использовались материалы, предоставленные органами администрации исследованных районов и сельских поселений; заключения о про-

ведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха на территории населенных пунктов в соответствии с контрактом от 17.07.2021 № 00066 «Проведение сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Улан-Удэ, пос. Селенгинск и пос. Каменск Кабанского района, г. Гусиноозерск Селенгинского района».

Методика исследования включала два этапа: расчет объемов выбросов и расчет ареалов рассеяния выбросов от АСО для сравнения с другими источниками.

Расчет объема выбросов от сжигания топлива в АСО жилых строений в разрезе населенных пунктов, входящих в ЦЭЗ, состоял из следующих шагов:

Выявление границ отдельных частных подворий в пределах населенного пункта методом автоматического дешифрирования космических снимков, включая их сегментацию (разделение изображений на фрагменты с относительно однородными спектральными характеристиками); классификацию сегментированного изображения с обучением для разделения сегментов, включающих здания и строения, растительность, дороги и незадернованные поверхности, границы между подворьями; создание маски отдельных подворий, т. е. выделение зон между границами подворий и конвертацию растровой маски в векторный слой (рис. 2).



Рис. 2. Пример результатов промежуточных этапов автоматического дешифрирования границ подворий в зонах индивидуальной жилой застройки

Fig. 2. An example of the results of intermediate stages of automatic decoding of the boundaries of farmsteads in zones of individual residential development

Визуальная проверка и коррекция границ подворий с применением снимков, доступных в сервисах Google Earth и «Яндекс.Панорамы». Для этого использовались данные о количестве индивидуальных

жилых домов, полученные в ходе опросов администрации некоторых репрезентативных сельских поселений и населенных пунктов. В целом расхождение в оценках количества домовладений составляет

около 7,3%, что, как правило, характерно для населенных пунктов с размещением туристических баз и других мест размещения рекреантов, которые слабо отличимы от индивидуальной жилой застройки при автоматическом дешифрировании.

Подсчет количества подворий для всех населенных пунктов ЦЭЗ показал, что в целом средний размер индивидуального домохозяйства в ЦЭЗ составляет 2,26 чел., но численность постоянного населения на одно подворье в населенных пунктах варьирует значительно: от 0,16 (п. Толбазиха) до 29 чел. (г. Байкальск). В сельских населенных пунктах, где отсутствуют многоквартирные дома и объекты рекреации, средний размер индивидуального домохозяйства составляет 1,7 чел.

Распределение площади индивидуальных жилых строений поселений пропорционально количеству подворий в пределах населенных пунктов, входящих в поселение. Оценка площади жилых строений для всей БПТ по населенным пунктам проведена путем распределения значений жилой площади,

доступной в базах Росстата [Благоустройство..., 2022], пропорционально количеству индивидуальных подворий.

Оценка среднего потребления топлива (угля и дров) для отопления 1 м² жилой площади определялась по данным опросов населения и представителей администрации репрезентативных поселений. Опросы и интервью показали, что в сельских населенных пунктах, особенно в удаленных от городских центров, доля использования дров увеличивается до 90% ввиду высокой стоимости угля и сложностей его доставки. В городах доля дров ниже и варьирует от 40 до 60%. При этом среднее удельное потребление дров составляет около 0,25 м³/м² жилой площади в год, а потребление угля – около 80 кг/м². Для проверки точности расчетов с применением опросов было произведено сравнение с данными, полученными в администрации Северо-Байкальского района. Средние расхождения в оценках составляют около 17% (табл. 1).

Таблица 1

Расхождение расхода топлива в автономных системах отопления между результатами расчетов и данными администрации Северо-Байкальского района

| Населенный пункт | Расход топлива, т | | Тип топлива |
|------------------|--|--|-------------|
| | по результатам расчетов, основанных на опросах населения | по данным администрации Северо-Байкальского района | |
| Кичера | 3396 | 4000 | Дрова |
| Нижнеангарск | 22 056 | 21 900 | Дрова |
| Нижнеангарск | 509 | 600 | Уголь |
| Верхняя заимка | 3257 | 3100 | Дрова |
| Холодная | 1269 | 1240 | Дрова |
| Байкальское | 11 308 | 10 700 | Дрова |

Расчет выбросов загрязняющих веществ от сжигания топлива проводился по формуле:

$$M_{tot} = s_{д.о} b_{д.уд} (M_{NO_x} + M_{SO_2} + M_{CO} + M_{ТВ}) + s_{у.о} b_{у.уд} (M_{NO_x} + M_{SO_2} + M_{CO} + M_{ТВ}),$$

где M_{tot} – объем выбросов от АСО, т/год; $s_{д.о}$ – площадь строений с АСО, использующих дрова; $s_{у.о}$ – площадь строений с АСО, использующих уголь; $b_{д.уд}$ и $b_{у.уд}$ – удельный расход соответственно дров и угля на 1 м² жилых строений, т/(м²·год); M_{NO_x} , M_{SO_2} , M_{CO} , $M_{ТВ}$ – удельные объемы выбросов соответственно NO_x, SO₂, CO и взвешенных частиц на 1 т сожженных дров (в данном ис-

следовании, согласно [Методика..., 1999], принято значение в 53,65 кг выбросов на тонну сожженных дров); M_{NO_x} , M_{SO_2} , M_{CO} , $M_{ТВ}$ – удельные объемы выбросов соответственно NO_x, SO₂, CO и взвешенных частиц на одну 1 т сожженного угля [Методика..., 1999]. Удельные объемы выбросов варьируют в зависимости от месторождения используемого угля приблизительно в диапазоне 20%. В среднем по исследуемой территории удельный выброс от сжигания 1 т угля составляет 88,75 кг.

Верификация полученных результатов осуществлялась путем сравнения расчетных значений выбросов с данными заключений о проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха на территории населенных пунктов в соответствии

с контрактом № 00066 «Проведение сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха на территории г. Улан-Удэ, пос. Селенгинск и пос. Каменск Кабанского района, г. Гусиноозерск Селенгинского района» от 17.07.2021. При разработке заключений авторами использовались в том числе результаты натурных обследований жилых кварталов с целью

уточнения расположения автономных источников теплоснабжения и параметров источников выбросов. Среднее расхождение расчетов с данными, представленными в заключениях, составляет около 14% (табл. 2). Согласно результатам расчетов в программном комплексе «ЭРА» это соответствует погрешности в оценке приземных концентраций около 5%.

Таблица 2

Расхождения в оценке объемов выбросов АСО с данными заключений о проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха

| Муниципальное образование | Объем выбросов, т/год | |
|--|-------------------------|--------------------------------------|
| | по результатам расчетов | по данным, содержащимся в заключении |
| Городское поселение «Город Гусиноозерск» | 1564 | 2031 |
| Городское поселение «Каменское» | 990 | 976 |
| Городское поселение «Селенгинское» | 759 | 1039 |
| Городской округ «Город Улан-Удэ» | 22 100 | 23 852 |

Для оценки особенностей рассеяния выбросов в зоне жилой застройки при сжигании топлива в АСО и других типах источников (ТЭЦ и котельных) был проведен расчет *среднегодовых приземных концентраций*, формирующихся от всех типов источников, с учетом значений суммарных выбросов, температуры и скорости выхода газо-воздушной смеси, высоты и диаметра устья источника при метеорологических условиях, близких к среднегодовым [Методы..., 2022]. Выбросы загрязняющих веществ от ТЭЦ опубликованы в Государственном докладе «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2021 году» [Государственный..., 2021], а объем выбросов котельных был рассчитан по [Методика..., 1999] на основе данных об объемах и видах используемого топлива, типе котла, предоставленных администрациями МО. Для расчетов объемов выбросов были использованы характеристики Черемховского и Ирша-Бородинского угля, дров, пеллетов.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Роль АСО в структуре выбросов муниципальных образований. Для БПТ вклад АСО в суммарный объем выбросов, включая автотранспорт², со-

ставляет 35% (265 тыс. т в год), что сопоставимо с выбросами от ТЭЦ и котельных (335 тыс. т), в 2,2 раза превышает выбросы от автотранспорта и судов и в 3,2 раза – промышленное загрязнение.

Для МО среднее значение выбросов от использования АСО составило 5,4 тыс. т в год, максимальный объем выбросов в городе Улан-Удэ (28,3 тыс. т), а минимальный – в г. Свирске (1,4 тыс. т). Различия в основном обусловлены тремя факторами: численностью населения, долей площади жилых строений без центрального отопления и топливом, которое использует население. Достаточно высокий объем выбросов характерен для пригородных районов Улан-Удэ со значительной долей угля – Иволгинского, Заиграевского, а также большинства южных МО Бурятии. Значительная доля угля в АСО характерна для Забайкальского края, а также Черемховского и Усольского районов Иркутской области.

Таким образом, АСО наряду с ТЭЦ и котельными являются доминирующим источником выбросов в большинстве МО. Но в территориальной структуре выделяются две полосы, расположенные вдоль Транссиба и БАМа, где разнообразные источники вносят свой вклад в загрязнение воздуха (рис. 3). Транссиб стал осью формирования агломераций вокруг региональных центров, здесь находятся крупнейшие электростанции, энерго- и топливемкие производства. БАМ – зона нового развития: освоение Ковыктинского газоконденсатного месторождения, строительство газопровода «Сила Сибири», второй ветки БАМа и терминала по отгрузке газового конденсата в п. Окунайский – все это способствует разнообразию источников выбросов и топлив-

² Выбросы от автотранспорта рассчитаны по данным ФНС (форма 5-т) и «Методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» (утверждено Приказом Минприроды России от 27.11.2019 № 804. Зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2019 № 56957).

ных ресурсов. Между ними расположена обширная территория сельской местности, где при печном отоплении домов традиционно используются дрова

и отходы лесозаготовки – главный источник загрязнения, но по мере продвижения на юг в топливном балансе населения увеличивается доля угля.

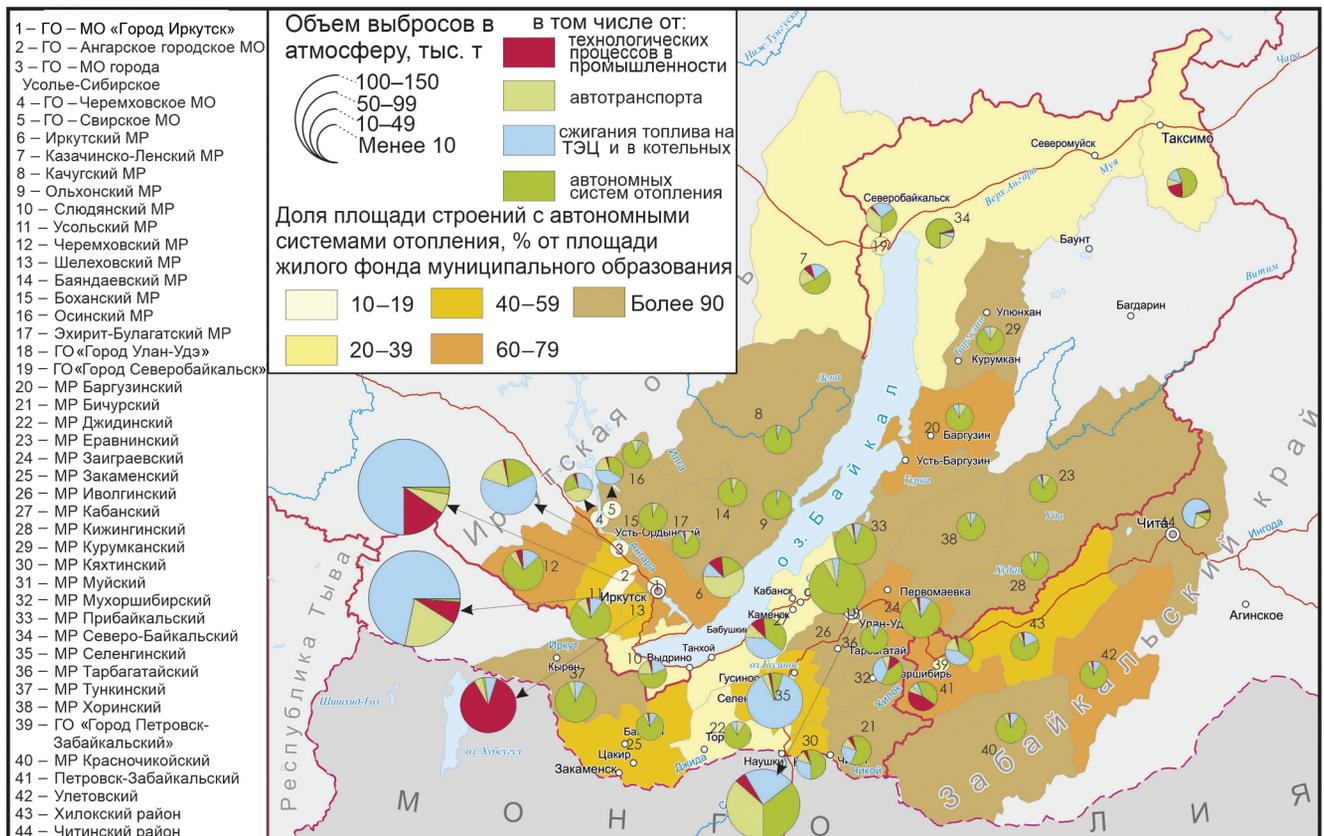


Рис. 3. Доля выбросов от автономных систем отопления в общем объеме выбросов в атмосферу в муниципальных районах, входящих в БПТ

Fig. 3. Share of emissions from autonomous heating systems in total air emissions in municipal areas included in the BNT

В результате особенностей ЭГП и ресурсного потенциала районов вокруг Байкала сформировалось несколько типов территорий по соотношению разных источников загрязнения атмосферы:

- в Иркутско-Черемховской агломерации и Селенгинском районе Бурятии основными источниками выбросов являются ТЭЦ и котельные в сочетании с 10–20% выбросов от автотранспорта и промышленности. Здесь размещены крупные не только в масштабах региона, но и страны топливные электростанции на угле. Объем выбросов от ТЭЦ в Иркутске и Ангарске превышает 200 тыс. т в год. В г. Усолье-Сибирское ТЭЦ-11 после закрытия основного предприятия «Усольехимпром» стала главным источником выбросов. В Селенгинском районе Бурятии основной источник загрязнения – Гусиноозерская ГРЭС, работающая на местном угле;

- в городах Улан-Удэ, Северобайкальск, Черемхово и Свирск, в пригородных Иволгинском и Чи-

тинском районах, рекреационном Ольхонском районе примерно равный вклад в загрязнение вносят централизованное, локальное теплоснабжение и автотранспорт;

- на отдельных территориях сохранилась существенная доля промышленных выбросов, в основном от предприятий цветной металлургии: в Шелехове (выбросы алюминиевого завода) и в Петровске-Забайкальском, в Муйском районе (золотодобыча);

- большая часть МО характеризуется преобладанием печного топлива. В Иркутской области значительная часть частного сектора использует электроэнергию, поскольку тарифы на нее в шесть раз ниже, чем в соседней Республике Бурятия, в северной части преобладают дрова. На восточном берегу примерно в равных пропорциях используются дрова и уголь, особенно в районах, где он добывается. В Мухоршибирском, Бичурском и соседних с ними районах Бурятии используют в основном каменный

уголь Тугнуйского и бурый Окино-Ключевского разрезов; в Петровск-Забайкальском, Хилокском и Читинском районах – бурый уголь Тигнинского месторождения. Даже в г. Гусиноозерске, несмотря на наличие ГРЭС, в частном секторе топят углем, который работники Гусиноозерского разреза получают по льготным ценам.

Особое место занимает ЦЭЗ, где печное топливо является главным источником выбросов, несмотря на их небольшие объемы. Повышенной плотностью выбросов характеризуются относительно крупные населенные пункты, с частичным присут-

ствием угля. Вблизи южного берега озера, в Утуликском сельском поселении и Слюдянском городском поселении плотность выбросов варьирует от 2 до 17 т/км². На западном берегу в с. Еланцы, где проживает около 5,5 тыс. чел. и используется частично уголь, плотность выбросов составляет 2,4 т/км². На восточном берегу озера в районе дельты Селенги, в Колесовском, Красноярском, Байкало-Кударинском сельских поселениях плотность выбросов в зоне варьирует от 1,1 до 3,1 т/км². Данная зона содержит более 15 населенных пунктов с объемом выбросов от 20 до 595 т/год (рис. 4).

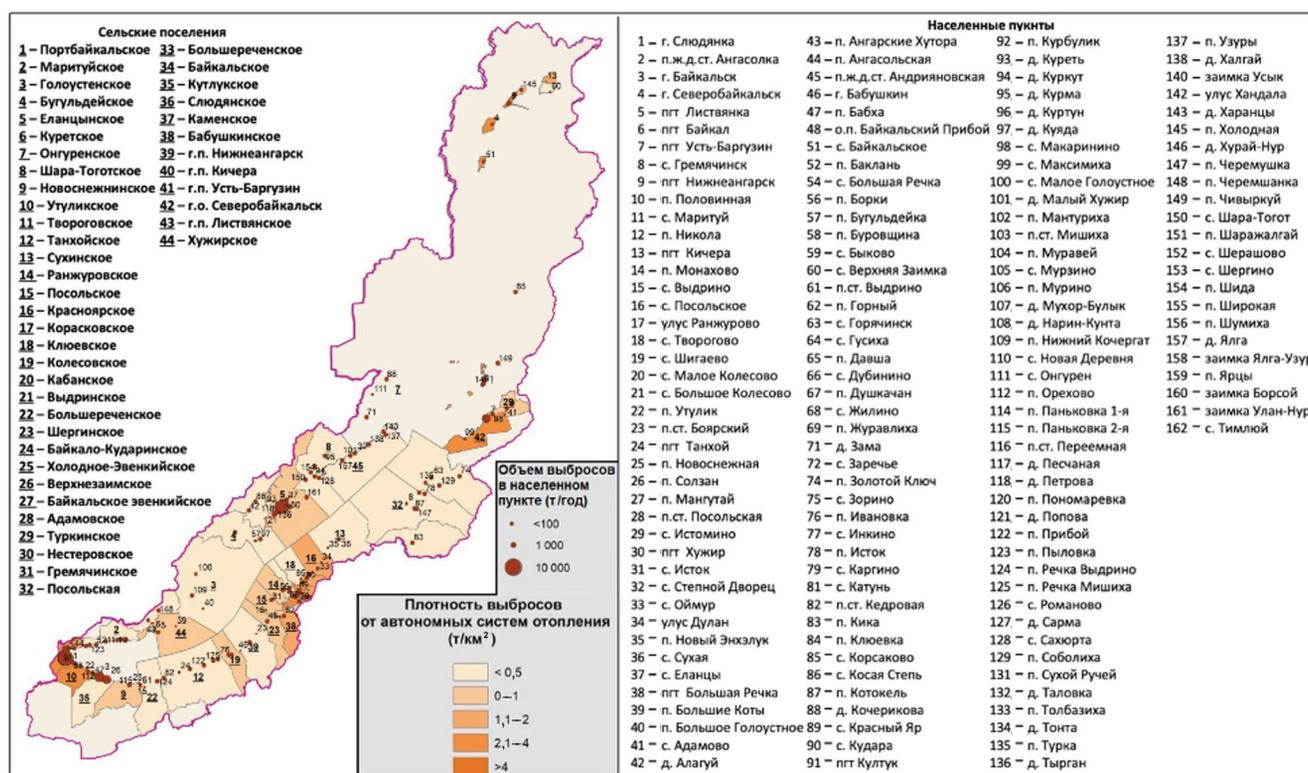


Рис. 4. Выбросы автономных систем отопления жилых строений в населенных пунктах, расположенных в ЦЭЗ БПТ

Fig. 4. Emissions from autonomous heating systems of residential buildings in settlements located in the central ecological zone of the Baikal natural territory

Структура источников во многом определяет и меры снижения загрязнения: в Иркутско-Черемховской агломерации выбросы от частного сектора можно снизить, подключив ИЖС к существующим котельным. Например, в окраинных районах г. Черемхово за счет средств нацпроекта «Экология» реализуется такой сценарий. В северной части западного берега, в лесных Казачинско-Ленском, с меньшей вероятностью Качугском районах, перспективным является перевод на газ. Такому сценарию способствует прокладка магистрального газопровода, затрудняет его реализацию – низкие доходы и консервативность населения, которому сложно менять

сложившийся уклад жизни. С аналогичными сложностями могут столкнуться и стратегии большего использования пеллет из отходов деревообработки, производимых в п. Улькан, поскольку для этого также необходимо заменить печи на котлы нового типа.

Мелкоселенный тип расселения, большие расстояния между населенными пунктами, высокий уровень тарифов на электроэнергию в Бурятии и Забайкальском крае, а также низкоширотное расположение в сравнении с остальной частью страны могут сделать перспективным для населения использование солнечных панелей. Солнечные электростанции небольшой мощности уже работают

в с. Тарбагатай в Бурятии и в Читинском районе, но они отдают энергию в сеть. Разработка программы помощи населению в установке солнечных панелей для начала в ЦЭЗ будет способствовать не только снижению уровня загрязнения, но и улучшению качества жизни, имиджа территории, развитию экологического туризма.

Особенности рассеяния выбросов от разных источников сжигания топлива. Роль АСО

в загрязнении зоны жилой застройки определяется не только объемами выбросов, но и особенностями их рассеяния по сравнению с выбросами от ТЭЦ и котельных. Для поселений разного типа на юго-западном берегу Байкала были рассчитаны ареалы рассеяния, при этом особый интерес представляли территории, на которых наблюдается сочетание ареалов от разных типов источников.

Таблица 3

Основные характеристики ареалов рассеяния выбросов в атмосферу от разных типов источников в Иркутской области

| Источники выбросов | Объем выбросов, т/год | Среднегодовые концентрации, доля от ПДК | Структура ареала рассеяния, радиус зон, км от источника | |
|--|---|---|---|--|
| | | | «ветровой тени» | увеличения приземных концентраций |
| ТЭЦ: ТЭЦ-9, ТЭЦ-9 (участок 1), ТЭЦ-10 г. Ангарска, Новоиркутская ТЭЦ, Шелеховский участок, ТЭЦ-11 г. Усолье-Сибирское | 5,7–55,2·10 ³ [Государственный доклад..., 2021] | До 0,4–0,6 в местах индивидуального воздействия ТЭЦ-9 и до 0,94 в местах пересечения ареалов воздействия ТЭЦ-9 и ТЭЦ-10 | 0–1, до 2 у наиболее крупных ТЭЦ | 0,5–5, максимально до 8 |
| Котельные: с. Еланцы (3), д. Куреть, п. Бугульдейка «Угольная», п. Листвянка, п. Портбайкал, «Центральная» г. Свирска, Черемхово (5) | 40–1792 ¹ | 0,18–1,11 | Нет | До 0,5–1 |
| АСО (дрова, уголь, электрокотлы): с. Еланцы, д. Куреть, д. Бугульдейка, с. Онгурен, г. Черемхово | 158–2200 ² | 1,6–4,9 | Нет | До 2,5 от населенного пункта, для малых не выходит за пределы населенного пункта |
| АСО (электрокотлы, дрова): п. Портбайкал, п. Листвянка, п. Большая Речка | 59–261 | 0,5–0,76 | Нет | Не выходит за пределы населенного пункта |

Примечание. ¹ Рассчитано по данным потребления топлива котельными (данные администрации района) и [Методика..., 1999].

² Рассчитано по [Показатели..., 2022; Сведения..., 2022], расчетам, основанным на анализе данных дистанционного зондирования, опросах местного населения и глав администраций муниципальных образований и методике [Методика..., 1999].

Особенностями ареалов рассеяния выбросов ТЭЦ является достаточно низкая концентрация в пределах зоны воздействия, не превышающая ПДК, что характерно не только для станций на газе [Битюкова и др., 2021], но и для крупнейших угольных ТЭЦ (Ново-Иркутская ТЭЦ, ТЭЦ-9 и ТЭЦ-10 в г. Ангарске). Однако существенную опасность от угольных станций представляет большой радиус зоны с заметным (более 0,1 ПДК) воздействием на качество воздуха, который достигает 5–10 км от источника и выходит за пределы населенного пункта, а также то, что в структуре выбросов наибольшая

концентрация характерна для SO₂ (0,9 ПДК). Результаты в целом согласуются с исследованиями, в которых рассчитаны зоны различной частоты превышения ПДКс.с. на территории Прибайкалья [Воложина, 2012].

Пространственная дифференциация ареалов всех веществ схожа: выделяются зоны с наименьшей концентрацией в непосредственной близости от источников, так называемые зоны «ветровой тени», затем концентрации увеличиваются, достигают максимума и постепенно убывают. Размер зон по каждому веществу обусловлен разной скоростью

оседания: минимальный характерен для взвешенных частиц, наибольший – для SO_2 . В результате наибольший уровень концентрации твердых частиц достигается уже на удалении более чем 2,7 км, а SO_2 – 6,9 км от источника. В этих условиях жилые районы городов Ангарск, Иркутск и Шелехов находятся в зоне заметного загрязнения SO_2 , а западная часть г. Ангарска также и NO_2 . Для ТЭЦ-11 г. Усолье-Сибирское превышения ПДК по всем веществам отсутствуют, наибольшие концентрации достигаются при выбросах SO_2 – 0,23 ПДК, формируя два максимума приземных концентраций – к северу и к югу от источника (рис. 5, А).

Котельные являются источниками выбросов средней высоты. С одной стороны, они также не формируют превышений ПДК, максимальные приземные концентрации обусловлены выбросами SO_2 , с другой – отсутствует зона ветровой тени, максимальные концентрации расположены в непосредственной близости от источника (для SO_2 не превышает 200 м, взвешенных частиц – 400–600 м). В результате объем выбросов котельных в большинстве случаев не превышает 1 тыс. т в год, а концентрации загрязняющих веществ в среднем в 3–4 раза выше, чем у высоких источников (табл. 3).

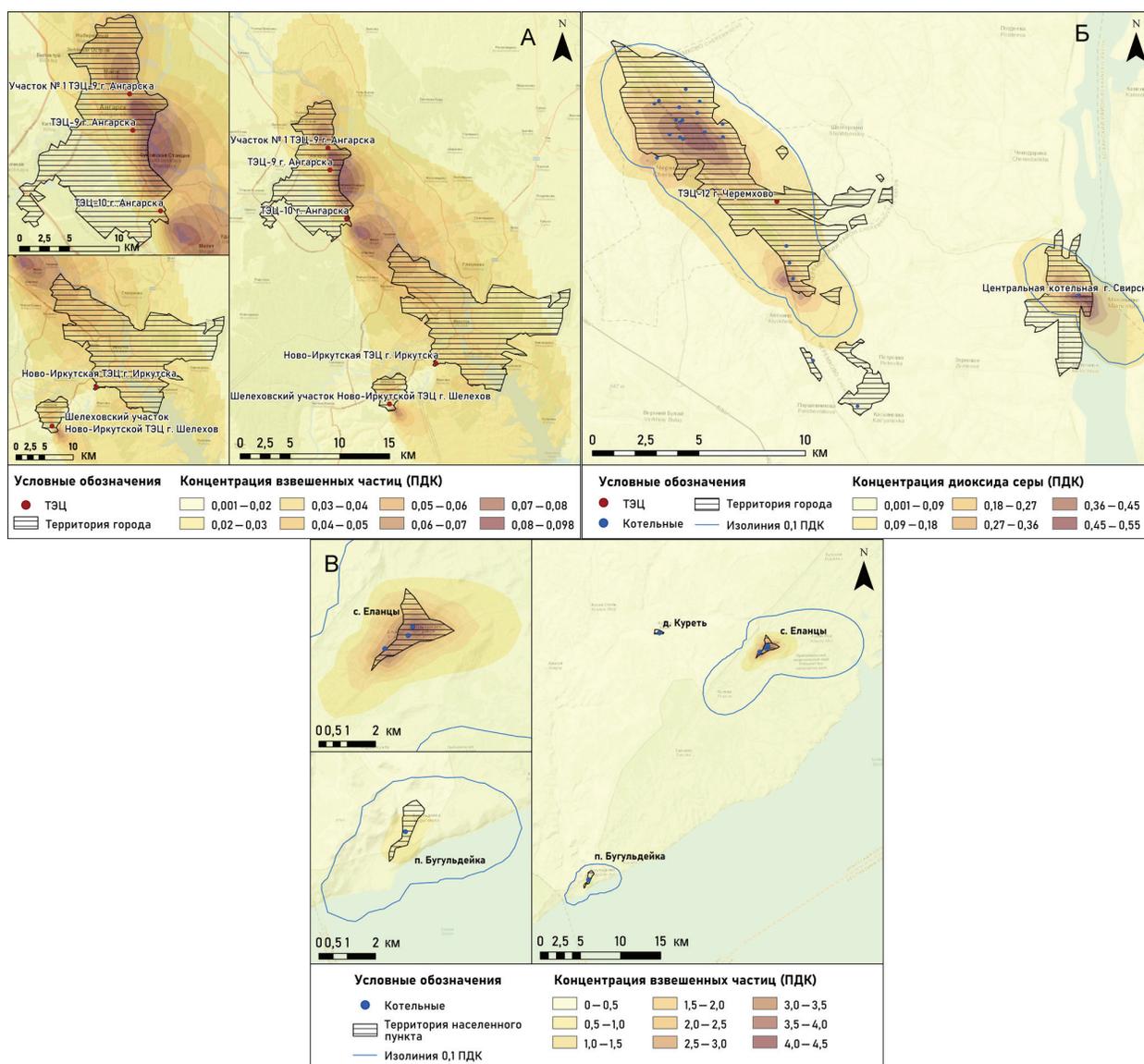


Рис. 5. Среднегодовые концентрации взвешенных частиц, формирующиеся в результате рассеяния выбросов от: А – ТЭЦ городов Иркутск, Шелехов и Ангарск; Б – котельных и ТЭЦ г. Черемхово; В – АСО в с. Еланцы, д. Куреть и п. Бугульдейка

Fig. 5. Average annual concentrations of suspended particles formed as a result of dispersion of emissions from: А – CHPPs in Irkutsk, Shelekhov and Angarsk; Б – boiler houses and CHPPs in Cheremkhovo; В – from autonomous heating systems of individual residential buildings in the villages Elantsy, Kuret and Buguldeyka

АСО создают более высокие уровни загрязнения в поселениях, где используются дрова и уголь (Еланцы, Бугульдейка, Куреть, Онгурен, окраина г. Черемхово). Вторым фактором является число источников. Так, в населенных пунктах, где расположено более 1000 домов, средняя концентрация загрязняющих веществ превышает ПДК в 4,5–5 раз, 300–400 домов – в 2–2,5 раза, около 200 домов – 0,75–1 ПДК. В самом крупном с. Еланцы зона с пятикратным превышением ПДК имеет радиус до 2,5 км и охватывает всю территорию села, а зона 0,1 ПДК распространяется до 10 км. Чем меньше населенный пункт, тем более простую структуру представляют собой ареалы рассеяния (см. рис. 5, В).

Результаты расчетов среднегодовых концентраций, формирующихся от выбросов котельных и АСО п. Байкал, Листвянка и Большая Речка, где большая часть домовладений использует электрические котлы и дрова, показали, что превышения ПДК по всем веществам отсутствуют. Зона с максимальными значениями концентраций формируется за пределами территории населенных пунктов. Между поселками Байкал и Листвянка наблюдается зона с максимальными концентрациями радиусом около 1 км. В зону с существенным влиянием попадает восточная часть п. Байкал.

В западной части Иркутско-Черемховской агломерации, где действуют все три типа источников, среднегодовые концентрации, формирующиеся при рассеивании выбросов загрязняющих веществ от котельных и ТЭЦ-12, незначительно превышают ПДК. Наибольшие приземные концентрации формируются при рассеивании выбросов взвешенных частиц и SO_2 и равны 1,1 и 0,5 ПДК соответственно. Выделяются три максимума приземных концентраций SO_2 , которые расположены в пределах территории городов Черемхово и Свирск (см. рис. 5, Б). Радиус наибольшей такой зоны равен около 1 км, наименьшей – 0,15 км. Для взвешенных частиц формируется один максимум, затрагивающий большую часть г. Свирска радиусом около 1,2 км. В г. Черемхово максимальный уровень превышения ПДК достигается в северо-западной и северной частях города, а также на периферии южной и восточной частей, имеющих малоэтажную застройку, где в АСО используется уголь. Данные результаты косвенно подтверждаются полевыми наблюдениями: для г. Улан-Батора определены степень техногенности выбросов и их основные источники. Доказано, что загрязнение снежного покрова уменьшается в ряду: юрточные районы > промзона > многоэтажные районы, т. е. наиболее опасные уровни загрязнения создаются в результате действия именно АСО на угле [Сорокина и др., 2013].

Таким образом, большинство котельных и ТЭЦ не приводит к превышению ПДК ни по одному загрязняющему веществу, что связано с большой высотой труб, наличием систем очистки выбросов от взвешенных частиц, а также сравнительно низкой плотностью указанных источников выбросов в регионе. Исключением является котельная г. Свирска, которая не имеет систем очистки выбросов, обладает большой мощностью, большими выбросами загрязняющих веществ, что приводит к превышению ПДК в непосредственной близости от источника.

Особенностями ареалов рассеяния выбросов индивидуальных жилых строений являются:

- отсутствие зоны низких приземных концентраций в непосредственной близости от источников, что связано с высокой плотностью источников выбросов в массивах индивидуальной жилой застройки, небольшой высотой труб, низким расходом газозвдушной смеси и относительно низкой температурой выброса;

- локальные максимумы концентрации тяготеют к центрам массивов индивидуальной жилой застройки;

- зоны превышения ПДК в большинстве случаев локальны (не более 700 м от источника) и не выходят за пределы населенных пунктов;

- зоны заметного (более 0,1 ПДК) воздействия на качество атмосферного воздуха распространяются на расстоянии не более 2–3 км от границ населенных пунктов;

- выбросы котельных и ТЭЦ образуют крупные по площади ареалы и могут оказывать воздействие на соседние населенные пункты, однако интенсивность такого воздействия в большинстве случаев невелика. Выбросы индивидуальных жилых строений, напротив, в большинстве случаев приводят к заметному (>0,1 ПДК) и значительному (>1 ПДК) воздействию на качество атмосферного воздуха, однако ареалы такого воздействия редко существенно выходят за пределы населенных пунктов.

ВЫВОДЫ

Разработанный алгоритм расчета объемов выбросов загрязняющих веществ от индивидуальной жилой застройки на обширной территории Байкальского региона позволил определить масштабы данного типа загрязнения. В пределах БПТ, несмотря на наличие крупных промышленных предприятий, энергетики на угле, развитого автомобильного и речного транспорта, вклад АСО в объем выбросов в атмосферу превышает 32%. Если для крупных городов и промышленных районов в структуре источников выбросов в атмосферу на первом месте энергетика, то для значительных территорий с индивидуальной застройкой, менее развитых территорий

особое значение имеют АСО, вклад которых превышает 90%, что часто недооценивается, поскольку не фиксируется официальной статистикой.

Влияние АСО определяется системой расселения, уровнем благоустройства жилого фонда и спецификой используемого топлива. Территория БПТ среди регионов России характеризуется средним уровнем благоустройства, где около половины жилого фонда имеют АСО, но значительные объемы выбросов связаны с характером используемого топлива. Согласно проведенным опросам, уголь преобладает в южных районах Бурятии и Забайкальском крае, дрова – в северной части как Иркутской области, так и Бурятии. Несмотря на низкий тариф на электричество в Иркутской области, в зоне Черемховского угольного бассейна используют уголь, а в северной части – дрова.

Сжигание топлива является основным источником выбросов для почти всех районов БПТ, но на низовом уровне в крупных городах доминируют угольные ТЭЦ, унаследованные от периода ускоренной индустриализации, в малых городах и районных центрах – небольшие, но организованные источники, обслуживающие социальную сферу. Для большей части жилого фонда, особенно рассредоточенного, определяющими являются АСО. Они формируют единую зону воздействия между Транссибом и БАМом, включая территорию ЦЭЗ. Ситуацию дополнительно осложняет стремительное развитие рекреационной сферы, объекты которой рассредоточены по побережью, что закрепляет архаичную модель системы отопления.

На значительной части территории страны АСО недооцененный, при этом повсеместный и очень

опасный источник выбросов в атмосферу. Опасность загрязнения от АСО определяется низкой высотой источников, плотностью жилой застройки, отсутствием систем очистки и особенно видом используемого топлива. В зоне их влияния при использовании угля уровень приземных концентраций загрязняющих веществ возрастает до 5 ПДК, а дров – до 2–2,5 ПДК. Особенность БПТ – сочетание высокозольных местных углей и дров, которые выглядят более экологичными.

Полученные оценки объемов и характера рассеяния выбросов от АСО на данных территориях позволяют включить их в систему приоритетных мер по снижению загрязнения. По плотности воздействия АСО превышают не только ТЭЦ, но и котельные. Для развития учреждений туризма и рекреации в ЦЭЗ необходимо использовать локальные установки возобновляемых источников энергии, в городах и крупных населенных пунктах – максимально использовать унаследованную инфраструктуру предприятий и котельные.

Разработанная методика показала высокий уровень точности расчетов. Новизна предложенной методики состоит в учете числа жилых помещений на основе космических снимков, которые выборочно верифицируются натурными обследованиями, что сопоставимо с оценкой муниципалитетов, которые используются в практике госуправления. Оценка площади жилых строений в разрезе населенных пунктов возможна путем распределения пропорционально количеству индивидуальных подворий. Это позволяет произвести расчет объема выбросов от АСО по всем регионам страны без необходимости проведения трудоемких натуральных исследований.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта № 8/Д-2021 «Разработка интегрированной (интегральной) оценки антропогенного воздействия и состояния окружающей среды озера Байкал»; НИР государственного задания кафедры экономической и социальной географии России № 121051100161-9 «Современная динамика и факторы социально-экономического развития регионов и городов России и Ближнего Зарубежья».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов Е.В., Беляев Ю.Р., Битюкова В.Р., Бредихин А.В., Дехнич В.С., Еременко Е.А., Колдобская Н.А., Прусихин О.Е., Сафронов С.Г. Интегральная оценка антропогенного воздействия на Байкальскую природной территории: методические подходы и типология муниципальных районов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2023. № 3. С. 430–447. DOI: 10.31857/S2587556623030032.
- Битюкова В.Р., Дехнич В.С., Петухова Н.В. Влияние ГРЭС на загрязнение воздуха городов России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 4. С. 38–51.
- Волкодаева М.В., Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Канчан Я.С., Левкин А.В., Тимин С.Д. Учет выбросов загрязняющих веществ от автономных источников теплоснабжения индивидуальных жилых домов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха для населенных пунктов // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. №. 2. С. 141–147. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-2-141-147.
- Воложжина С.Ж. Оценка пространственно-временного распределения антропогенных примесей в атмосфере Прибайкалья: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Улан-Удэ, 2012. 22 с.
- Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2022 году». Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2021. 360 с.
- Драбкина Е.В., Елсуков А.В. Оценка энергоэффективности автономных источников теплоснабжения // Наука и техника транспорта. 2019. № 3. С. 88–92.

- Иванов В.А. Исследование целесообразности использования автономных систем теплоснабжения на Севере // Актуальные вопросы технических наук: материалы Междунар. науч. конференции (г. Пермь, июль 2011 г.). Пермь: Меркурий, 2011. С. 57–58.
- Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Фридман К.Б., Еремин Г.Б., Панькин А.В. Выявление источников выбросов загрязняющих веществ, вызывающих жалобы населения на неприятные запахи. Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 6. С. 601–607. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-6-601-607.
- Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Голованов Д.Л., Ямнова И.А., Энхамгалан С. Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2010. № 3. С. 20–27.
- Костылева Н.В., Дьяков М.С., Кварцхава К.Р. Сравнительный анализ подходов к расчету выбросов в атмосферный воздух от индивидуальных теплоагрегатов // Проблемы региональной экологии. 2021. № 6. С. 108–112.
- Любов В.К., Попов А.Н., Попова Е.И., Малыгин П.В., Солнышкова Л.М. Исследование эффективности сжигания древесного биотоплива в теплогенерирующей установке // Лесной журнал. 2017. № 4. С. 149–161.
- Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 20 Гкал в час. М.: Госкомэкология РФ, 1999. 76 с.
- Михайлюта С.В., Леженин А.А. Влияние выбросов автономных источников теплоснабжения на загрязнение атмосферного воздуха // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 4. С. 116–123.
- Соколов Б.А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. 3-е изд., стер. М.: Академия, 2011. 128 с.
- Сорокина О.И., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Голованов Д.Л., Бажа С.Н., Доржготов Д., Энх-Амгалан С. Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 159–170.
- Тикунов В.С., Черешня О.Ю., Грибок М.В., Яблоков В.М. Методика оценки регионов России по уровню загрязнения воздуха // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 5. С. 43–48.
- Толстова Ю.И., Овчинников А.А. Загрязнение воздушного бассейна городов выбросами источников теплоснабжения // Сб. ст. VI Международной конференции: Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур SAFETY2020. Екатеринбург, 2020. С. 188–192.
- Cheng Y., Engling G., He K.-B. et al. Biomass burning contribution to Beijing aerosol, *Atmos. Chem. Phys.*, 2013. vol. 13, no. 15, p. 7765–7781, DOI: 10.5194/acp-13-7765-2013.
- Fadel M., Ledoux F., Seigneur M. et al. Chemical Profiles of Pm2.5 Emitted from Various Anthropogenic Sources of the Eastern Mediterranean: Cooking, Wood Burning, and Diesel Generators, *Environmental Research*, 2022, vol. 211, 113032.
- Household use of solid fuels and high temperature frying, *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 2010, vol. 95, p. 1–424.
- Garland R., Yang H., Schmi O. et al. Aerosol optical properties in a rural environment near the mega-city Guangzhou, China: Implications for regional air pollution, radiative forcing, and remote sensing, *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, vol. 8, no. 3, p. 5161–5186, DOI: 10.5194/acpd-8-6845-2008.
- Padoan S., Zappi A., Adam T. et al. Organic Molecular Markers and Source Contributions in a Polluted Municipality of North-East Italy: Extended Pca-Pmf Statistical Approach, *Environmental Research*, 2020, vol. 186, 109587, DOI: 10.1016/j.envres.2020.109587.
- Perera F. Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, vol. 15(1), 16, DOI: 10.3390/ijerph15010016.
- Электронные ресурсы**
- Благоустройство жилищного фонда по субъектам Российской Федерации. Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Jil_bl.xls; <https://gks.ru/dbscripts/munst/munst25/DBInet.cgi#1> (дата обращения 08.07.2022).
- Информация о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (2ТП (воздух)) за 2018–2022 гг. // База данных Росприроднадзора (Федеральная служба по надзору в сфере природопользования). URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/> (дата обращения 08.07.2022).
- Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. Приказом Минприроды РФ № 273 от 06.06.2017 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»). URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36322?items=1> (дата обращения 22.05.2022).
- Отопление жилья древесиной и углем: воздействие на здоровье человека и варианты политики в Европе и Северной Америке // Доклад Совместной целевой группы по аспектам воздействия загрязнения воздуха на здоровье человека. ООН. Европейская экономическая комиссия Исполнительный орган по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Тридцать третья сессия. Женева, 8–12 декабря 2014 года. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2014/> (дата обращения 08.02.2023).
- Сведения об использовании топливно-энергетических ресурсов. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). ЕМИСС, 2022. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58486> (дата обращения 05.02.2023).
- Показатели муниципальных образований // Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2022. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 08.07.2022).
- Экологический мониторинг озера Байкал. Информационный ресурс. URL: <http://www.baikalake.ru/about/uvpn/> (дата обращения 26.12.2022).
- Energy access and Air pollution, International Energy Agency, 2016, URL: <https://www.iea.org/reports/energy-access-and-air-pollution> (дата обращения 26.12.2022).

Поступила в редакцию 24.07.2023
 После доработки 10.09.2023
 Принята к публикации 06.10.2023

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AUTONOMOUS RESIDENTIAL HEATING SYSTEMS ON AIR POLLUTION IN MUNICIPALITIES (CASE STUDY OF THE BAIKAL REGION)

V.R. Bityukova¹, V.S. Dekhnich², A.I. Kravchik³, N.S. Kasimov⁴

^{1,3,4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,

² Lomonosov Moscow State University, Kazakhstan branch, Department of Ecology and Nature Management

¹ Department of Economic and Social Geography of Russia, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru

² Senior Lecturer, Ph.D. in Geography; e-mail: vodo.ast@gmail.com

³ Department of Economic and Social Geography of Russia, Master student; e-mail: nastya.kravchik@gmail.com

⁴ Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Academician, D.Sc. in Geography; e-mail: nskasimov@geogr.msu.ru

The article suggests a method for calculating emissions from the autonomous heating systems (AHS) of individual residential buildings based on the assessment of the number and area of farmsteads using remote sensing data, the volume and type of fuel and the type of combustion according to population surveys data and data provided by the administrations of municipal districts and settlements. The importance of AHS as a source of atmospheric pollution was evaluated at three spatial levels: the regions of Russia, where the AHS are of the greatest importance, were identified according to the structure of fuel consumption; the emissions from the combustion of residential heating fuel were calculated for the municipalities of the Baikal natural territory (BNT) and the types of territories were identified according to the structure of emission sources; and the role of AHS in air pollution of the residential areas was assessed for settlements. AHS are the dominant air pollution source (over 90%) for most of the BNT territory. Unlike CHPPs and boiler facilities, emissions from individual residential buildings using coal and firewood in most cases significantly affect air quality (up to 4,9 MPC of particulate matter and sulfur dioxide), and the areas of such impact are limited to the residential area of settlements. Strategies to reduce pollution depend on the location of a territory, type of settlement, income levels, the current structure of fuel consumption, the presence of exploited coal deposits and other factors.

Keywords: residential heating fuel, Baikal, thermal power plant, boiler facilities, emission dispersion areas

Acknowledgements. The work was carried out under the framework of project no. 8 / D-2021 “Development of an integrated (integral) assessment of the anthropogenic impact and the state of the environment of Lake Baikal”. Research work of the state assignment of the Department of Economic and Social Geography of Russia No. 121051100161-9 “Modern dynamics and factors of socio-economic development of regions and cities of Russia and the Near Abroad”.

REFERENCES

- Antonov E.V., Belyaev Yu.R., Bityukova V.R., Bredikhin A.V., Dekhnich V.S., Eremenko E.A., Koldobskaya N.A., Prusikhin O.E., Safronov S.G. Integralnaya otsenka antropogennogo vozdeistviya na Baikalskoj prirodnoj territorii: metodicheskie podhody i tipologiya munitsipalnyh rajonov [Integral assessment of anthropogenic impact on the Baikal natural territory: methodological approaches and typology of municipal districts], *Izv. RAN, Ser. geogr.*, 2023, no. 3, p. 1–18. (In Russian)
- Bityukova V.R., Dekhnich V.S., Petuhova N.V. Vliyanie GRES na zagryaznenie vozduha gorodov Rossii [Impact of regional power plants on air pollution in Russian cities], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 4, p. 38–51. (In Russian)
- Cheng Y., Engling G., He K.-B. et al. Biomass burning contribution to Beijing aerosol, *Atmos. Chem. Phys.*, 2013, vol. 13, no. 15, p. 7765–7781, DOI: 10.5194/acp-13-7765-2013.
- Drabkina E.V., Elsukov A.V. Otsenka energoeffektivnosti avtonomnyh istochnikov teplosnabzheniya [Assessment of the energy efficiency of autonomous heat supply sources], *Nauka i tekhnologiya transporta*, 2019, no. 3, p. 88–92. (In Russian)
- Fadel M., Ledoux F., Seigneur M. et al. Chemical Profiles of Pm2.5 Emitted from Various Anthropogenic Sources of the Eastern Mediterranean: Cooking, Wood Burning, and Diesel Generators, *Environmental Research*, 2022, vol. 211, 113032.
- Garland R., Yang H., Schmi O. et al. Aerosol optical properties in a rural environment near the mega-city Guangzhou, China: Implications for regional air pollution, radiative forcing, and remote sensing, *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, vol. 8, no. 3, p. 5161–5186, DOI: 10.5194/acpd-8-6845-2008.
- Gosudarstvennyj doklad “O sostoyanii ozera Baikal i merah po ego ohrane v 2022 godu” [State report “On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2022”], Irkutsk, Institute of Geography V.B. Sochavy SO RAN Publ., 2021, 360 p. (In Russian)
- Household use of solid fuels and high temperature frying, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2010, vol. 95, p. 1–424.
- Ivanov V.A. [Study of the feasibility of using autonomous heat supply systems in the North], *Aktualnye voprosy tekhnicheskikh nauk: materialy Mezhdunar. nauch. konf.* (Perm, iyul 2011) [Actual questions of technical sciences: materials of the Intern. scientific conf. (Perm, July 2011)], Perm, Mercury Publ., 2011, p. 57–58. (In Russian)
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Fridman K.B., Eremin G.B., Pankin A.V. Vyyavlenie istochnikov vybrosov zagryaznyayuschih veschestv vyzyvayuschih zhaloby naseleniya na nepriyatnye zapahi [Identification of emission sources of pollutants causing complaints of unpleasant odors],

- Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 6, p. 601–607, DOI 10.18821/0016-9900-2019-98-6-601-607.
- Kosheleva N.Y., Kasimov N.S., Sorokina O.I., Gunin P.D., Bazha S.N., Enkh-Amgalan S. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami v promyshlennykh gorodakh Mongolii [Contamination of soils with heavy metals in the industrial centers of Mongolia], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2010, no. 3, p. 20–27. (In Russian)
- Kostyleva N.V., Dyakov M.S., Kvartskhava K.R. Sravnitelnyj analiz podhodov k raschetu vybrosov v atmosferyjnyj vozduh ot individualnyh teploagregatov [Comparative analysis of the approaches to calculating atmospheric emissions from individual heat generators], *Problemy regionalnoj ekologii*, 2021, no. 6, p. 108–112. (In Russian)
- Lyubov V.K., Popov A.N., Popova E.I., Malygin P.V., Solnyshkova L.M. Issledovanie effektivnosti szhiganiya drevesnogo biotopliva v teplogeneriruyushej ustanovke [Wood-based biofuel efficiency in the heat producing installation], *Lesnoj zhurnal*, 2017, no. 4, p. 149–161. (In Russian)
- Metodika opredeleniya vybrosov zagryaznyayuschih veschestv v atmosfere pri szhiganii topliva v kotlah proizvoditelnostyu menee 20 Gcal v chas [Methodology for determining emissions of pollutants into the atmosphere during fuel combustion in boilers with a capacity of less than 20 Gcal per hour], Moscow, Goskomekologiya RF Publ., 1999, 76 p. (In Russian)
- Mikhailyuta S.V., Lezhenin A.A. Vliyaniye vybrosov avtonomnyh istochnikov teplosnabzheniya na zagryaznenie atmosfernogo vozduha [The impact of emissions from autonomous heat supply sources on atmospheric air pollution], *Interexpo Geo-Siberia*, 2022, vol. 4, p. 116–123. (In Russian)
- Padoan S., Zappi A., Adam T. et al. Organic Molecular Markers and Source Contributions in a Polluted Municipality of North-East Italy: Extended Pca-Pmf Statistical Approach, *Environmental Research*, 2020, vol. 186, 109587, DOI: 10.1016/j.envres.2020.109587.
- Perera F. Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, vol. 15(1), 16, DOI: 10.3390/ijerph15010016.
- Sokolov B.A. *Parovye i vodogreynye kotly maloj i srednej moschnosti. Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij* [Steam and hot water boilers of small and medium capacity: textbook for students of higher education institutions], 3rd ed., Moscow, Academy Publ., 2011, 128 p. (In Russian)
- Sorokina O.I., Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Golovanov D.L., Bazha S.N., Dorzhgotov D., Enkh-Amgalan S. Heavy metals in the air and snow cover of Ulan Bator, *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 3, p. 291–301.
- Tikunov V.S., Cheresnaya O.Yu., Gribok M.V., Yablokov V.M. Metodika otsenki regionov Rossii po urovnyu zagryazneniya vozduha [Assesment of Russian regions in terms of the air pollution level], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 5, p. 43–48. (In Russian)
- Tolstova Yu.I., Ovchinnikov A.A. [Pollution of the air basin of cities with emissions from heat supply sources], *Problemy bezopasnosti stroitelnykh kritichnykh infrastruktur. Sbornik statej VI Mezhdunarodnoj konferentsii SAFETY2020* [Security Issues of Building Critical Infrastructures Collection of articles of the VI International Conference: SAFETY2020], Yekaterinburg, 2020, p. 188–192. (In Russian)
- Volkodaeva M.V., Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Kanchan Y.S., Levkin A.V., Timin S.D. Uchet vybrosov zagryaznyayuschih veschestv ot avtonomnyh istochnikov teplosnabzheniya individualnyh zhilyh domov pri provedenii svodnyh raschetov zagryazneniya atmosfernogo vozduha dlya naselennykh punktov [On accounting for emissions of pollutants from autonomous heat supply sources of individual residential buildings when conducting summary calculations of atmospheric air pollution for settlements], *Gigiena i sanitariya*, 2023, no. 102(2), p. 141–147.
- Vologzhina S.Zh. *Otsenka prostranstvenno-vremennogo raspredeleniya antropogennykh primesej v atmosfere Pribaikal'ya* [Estimation of spatio-temporal distribution of anthropogenic impurities in the atmosphere of the Baikal region], Abstract diss. for the degree of Cand. geogr. Sciences, Ulan-Ude, 2012. (In Russian)
- Web sources*
- Blagoustrojstvo zhilishchnogo fonda po sub'ektam Rossijskoj Feeratsii [Improvement of the housing stock in the constituent entities of the Russian Federation], Rosstat, URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Jil_bl.xls; <https://gks.ru/dbscripts/munst/munst25/DBInet.cgi#1> (access date 08.07.2022).
- Ekologicheskij monitoring ozera Baikal [Environmental monitoring of Lake Baikal], Information resource, URL: <http://www.baikalake.ru/about/uvpn/> (data accessed 26.12.2022).
- Energy access and Air pollution, International Energy Agency, 2016, URL: <https://www.iea.org/reports/energy-access-and-air-pollution> (access date 26.12.2022).
- Informatsiya o vybrosah zagryaznyayuschih veschestv v atmosferyjnyj vozduh ot stacionarnykh istochnikov (ZTP (vozduh)) za 2018–2022 [Information on emissions of pollutants into the atmospheric air from stationary sources (ZTP (air)) for 2018–2022], Rosprirodnadzor database (Federal Service for Supervision of Natural Resources), URL: <http://rpn.gov.ru/opendata> (access date 08.07.2022).
- Metody rascheta rasseivaniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayuschih) veschestv v atmosfere vozduhu [Methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (pollutant) substances in the atmospheric air] (approved by Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation no. 273 dated 06.06.2017 “On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (pollutant) substances in the atmospheric air”), URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36322?items=1> (access date 22.05.2022).
- Pokazateli munitsipal'nykh obrazovanij [Indicators of municipalities], Federal State Statistics Service (Rosstat), 2022, URL: <http://www.gks.ru> (access date 08.07.2022).
- Residential Heating with Wood and Coal: Human Health Impacts and Policy Options in Europe and North America – Report of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution, UN, Economic Commission for Europe Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution Thirty-third session Geneva, 8–12 December 2014, URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2014/> (access date 08.02.2023).
- Svedeniya ob ispolzovanii toplivno-energeticheskikh resursov [Information about the use of fuel and energy resources], Federal State Statistics Service (Rosstat), EMISS, 2022, URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58486> (access date 08.07.2022).

Received 24.07.2023

Revised 10.09.2023

Accepted 06.10.2023