Методологический подход к комплексной оценке экологической безопасности теплоснабжения на примере Москвы
Moscow as an example of a methodological approach to a comprehensive assessment of the environmental safety of heat supply
以莫斯科为例综合评估供热环境安全的方法论

Осокин Н.А., Максимов А.Г., Куров А.А., Золотова И.Ю.
Osokin N.A., Maximov A.G., Kurov A.A., Zolotova I.Yu.

DOI: 10.17747/2618-947X-2025-1-10-19

CC BY 4.0

Методологический подход к комплексной оценке экологической безопасности теплоснабжения на примере Москвы

Н.А. Осокин[1]
А.Г. Максимов[2]
А.А. Куров[1]
И.Ю. Золотова[3]
[1] ООО «Центр цифровых решений «Цикл-Он» (Москва, Россия)
[2] Минэнерго России (Москва, Россия)
[3] Национальная ассоциация развития вторичного использования сырья (Москва, Россия)

Аннотация
Письмом Минэнерго России от 15.04.2020 № МЮ-4343/09 «Об утверждении схем теплоснабжения поселений, городских округов» определены рекомендации к содержанию схем теплоснабжения, которые должны разрабатываться для населенных пунктов в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения». В частности, указывается на необходимость проведения оценки экологической безопасности теплоснабжения населенных пунктов. Авторами предложен методологический подход по разработке раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения», в том числе с учетом нормативного правового регулирования выбросов загрязняющих веществ, определенных нормативными правовыми актами РФ в сфере экологической безопасности и охраны окружающей среды. В статье освещены вопросы формирования базы данных для учета источников загрязнения, проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ, использования автоматизированных алгоритмов для расчета рассеивания и формирования геоинформационного слоя рассеивания загрязняющих веществ в рамках электронной модели схемы теплоснабжения.
Ключевые слова: экология, схема теплоснабжения, охрана атмосферного воздуха, автоматизация, рассеивание загрязняющих веществ.

Для цитирования:
Осокин Н.А., Максимов А.Г., Куров А.А., Золотова И.Ю. (2025). Методологический подход к комплексной оценке экологической безопасности теплоснабжения на примере Москвы. *Стратегические решения и риск-менеджмент,* 16(1): 10–19. DOI: 10.17747/2618-947X-2025-1-10-19.

Moscow as an example of a methodological approach to a comprehensive assessment of the environmental safety of heat supply

N.A. Osokin[1]
A.G. Maximov[2]
A.A. Kurov[1]
I.Yu. Zolotova[3]
[1] Digital Solutions Center ‘Cycle-On’ (Moscow, Russia)
[2] Ministry of Energy of Russia (Moscow, Russia)
[3] National Association of Secondary Material Application (Moscow, Russia)

Abstract
The letter of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. MU-4343/09, dated 15 April 2020, defines recommendations for the content of heat supply systems for cities in accordance with Decree of the Government of the Russian Federation No. 154, dated 22 February 2012. It is necessary to assess the environmental safety on urban heat supply. The authors propose a methodological approach to the development of the ‘Environmental safety of heat supply’ part, taking into account the regulatory framework of pollutant emissions that defined by regulatory legal acts in Russia. The article highlights the issues of creating a database of pollution sources, conducting an inventory of emissions, using automated algorithms to calculate the dispersion of pollutants, and creating a geoinformation layer of pollutants for the electronic model of a heat supply system.
Keywords: ecology, heat supply scheme, atmospheric air protection, automation, dispersion of pollutants.

For citation:
Osokin N.A., Maximov A.G., Kurov A.A., Zolotova I.Yu. (2025). Methodological approach to a comprehensive assessment of the environmental safety of heat supply using the example of Moscow. *Strategic Decisions and Risk Management*, 16(1): 10-19. DOI: 10.17747/2618-947X-2025-1-10-19. (In Russ.)

© Осокин Н.А., Максимов А.Г., Куров А.А., Золотова И.Ю., 2025

以莫斯科为例综合评估供热环境安全的方法论

N.A. Osokin[1]
A.G. Maximov[2]
A.A. Kurov[1]
I.Yu. Zolotova[3]

[1] Cycle-On 数字解决方案中心有限责任公司（俄罗斯莫斯科）
[2] 俄罗斯能源部（俄罗斯，莫斯科）
[3] 国家原材料回收发展协会（俄罗斯，莫斯科）

简介

2020年4月15日俄罗斯能源部第MU-4343/09号 "关于批准居民点和城市区域供热计划 "的信函，根据2012年2月22日俄罗斯联邦政府第154号 "关于供热计划的要求、制定和批准程序 "的决议，确定了居民点供热计划内容的建议。作者特别指出，有必要对居民区供热的环境安全进行评估。作者提出了制定 "供热环境安全 "部分的方法论，包括考虑俄罗斯联邦环境安全和环境保护领域的规范性法案所规定的污染物排放规范性法律条例。 文章重点介绍了建立污染源数据库、编制污染物排放清单、使用自动算法计算扩散量以及在供热计划电子模型中形成污染物扩散地理信息层等问题。

关键词: 生态、供热计划、空气保护、自动化、污染物扩散。

供引用:

Osokin N.A., Maximov A.G., Kurov A.A., Zolotova I.Yu. (2025). 以莫斯科为例综合评估供热环境安全的方法论。战略决策和风险管理, 16(1): 10–19. DOI: 10.17747/2618-947X-2025-1-10-19。(俄文)

Введение

Качество атмосферного воздуха играет ключевую роль в обеспечении экологической безопасности и здоровья населения и регулируется в Российской Федерации нормативными правовыми актами, которые устанавливают основные требования к охране окружающей среды, контролю за выбросами загрязняющих веществ (далее – ЗВ) и обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Конституцией Российской Федерации (далее – Конституция) определены права граждан на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии, а также обязанность сохранять природу и бережно относиться к природным богатствам. Соответствующие положения Конституции отражены в нормативных актах, регулирующих не только сферу охраны окружающей среды, но и практически все отрасли Российской Федерации, в том числе теплоснабжение. В табл. 1 представлена нормативная правовая база обеспечения качества атмосферного воздуха в составе

Таблица 1
Нормативная правовая база обеспечения качества атмосферного воздуха: федеральные законы в привязке к статьям 42 и 58 Конституции РФ
Table 1
Regulatory framework for ensuring air quality: Federal laws in connection with Articles 42 and 58 of the Constitution of the Russian Federation

Федеральный закон	Статьи Конституции в сфере охраны атмосферного воздуха	
	Ст. 42: Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии	Ст. 58: Каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам
ФЗ от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»	Устанавливает требования к предоставлению экологической информации (ст. 4.3) Определяет порядок создания федеральной государственной информационной системы состояния окружающей среды (ст. 4.4) и единой системы государственного экологического мониторинга (ст. 63.1)	Определяет ЗВ, объекты, к которым применяется государственный контроль (ст. 4, 69) Определяет нормативы в области охраны окружающей среды (ст. 19–31)
ФЗ от 04.05.1999 №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»	Устанавливает требования предоставления информации при изменении состояния атмосферного воздуха (ст. 19, 23, 29)	Определяет требования и нормативы к качеству атмосферного воздуха (ст. 11–19) Обеспечивает контроль воздействий на атмосферный воздух (ст. 21) Устанавливает порядок мониторинга и контроля выбросов ЗВ (ст. 23–26)
ФЗ от 30.03.1999 №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»	Устанавливает порядок обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения (ст. 2)	Устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к атмосферному воздуху (ст. 20)
ФЗ от 26.03.2003 №35-ФЗ «Об электроэнергетике»	Устанавливает требования к предоставлению информации об авариях в электроэнергетике (ст. 28.5)	Устанавливает принцип обеспечения экологической безопасности электроэнергетики (ст. 6)
ФЗ от 27.07.2010 №190-ФЗ «О теплоснабжении»	Устанавливает требования к предоставлению информации о деятельности теплоснабжающих организаций (ст. 23.7)	Устанавливает принцип обеспечения экологической безопасности теплоснабжения (ст. 3) Определяет развитие систем теплоснабжения с учетом минимального вредного воздействия на окружающую среду (ст. 23)

Источники: подготовлено авторами на основе анализа федеральных законов «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ, «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 №96-ФЗ, «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 №52-ФЗ, «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 №35-ФЗ, «О теплоснабжении» от 27.07.2010 №190-ФЗ.

федеральных законов в сфере охраны окружающей среды и энергетики, отражающих статьи Конституции.

В соответствии с частью 1 статьи 3 Федерального закона от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» одним из принципов организации отношений в сфере теплоснабжения является обеспечение экологической безопасности теплоснабжения. Согласно статье 10 Постановления Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения»[1] (далее – ППРФ № 154), схема теплоснабжения поселений, муниципальных округов, городских округов, городов федерального значения подлежит ежегодной актуализации[2]. В соответствии со статьями 2, 23 ППРФ № 154 при разработке и актуализации схем теплоснабжения для населенных пунктов с населением от 100 тыс. чел. одной из обязательных составляющих частей схемы теплоснабжения является «Электронная модель системы теплоснабжения поселения, муниципального округа, городского округа, города федерального значения».

Согласно письму Минэнерго Российской Федерации от 15.04.2020 № МЮ-4343/09 «Об утверждении схем теплоснабжения поселений, городских округов»[3] (далее – письмо Минэнерго России), при разработке и актуализации схем теплоснабжения рекомендуется включать раздел с описанием текущего состояния воздействия на окружающую среду «Экологическая безопасность теплоснабжения». Рекомендуемое содержание раздела:

– электронная карта территории населенного пункта с актуальным расположением всех объектов теплоснабжения;
– описание фоновых или сводных расчетов концентраций загрязняющих веществ;
– описание характеристик и объемов сжигаемых видов топлив на объектах теплоснабжения;
– описание технических характеристик котлоагрегатов;
– описание валовых и максимальных разовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на источниках тепловой энергии;
– описание результатов расчетов среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха от объектов теплоснабжения;
– описание результатов расчетов максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха от объектов теплоснабжения;
– описание объема (массы) образования и размещения отходов сжигания топлива;
– представление данных расчетов рассеивания загрязняющих веществ от объектов теплоснабжения на карте-схеме населенного пункта.

В письме Минэнерго России также перечислены загрязняющие вещества, по которым рекомендуется предоставить описание валовых и максимальных разовых выбросов в атмосферный воздух на источниках тепловой энергии: двуокись серы, окись углерода, оксиды азота, бенз(а)пирен, мазутная зола в пересчете на ванадий, твердые частицы. Эти загрязняющие вещества входят в перечень ЗВ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, и представлены в распоряжении Правительства Российской Федерации от 20.10.2023 № 2909-р[4].

Нормативы предельно допустимых концентраций (далее – ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений утверждены и представлены в СанПиН 1.2.3685-21[5]. Для ряда веществ утверждены нор-

Таблица 2
Нормативы ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений
Table 2
MAC standards for pollutants in the air of urban and rural settlements

Загрязняющее вещество	ПДК м.р. (мг/м³)	ПДК с.с. (мг/м³)	ПДК с.г. (мг/м³)	ОБУВ (мг/м³)
Диоксид азота NO_2	0,2	0,1	0,04	—
Оксид азота NO	0,4	—	0,06	—
Серы диоксид SO_2	0,5	0,05	—	—
Углерода оксид CO	5,0	3,0	3,0	—
Бенз (а) пирен $C_{20}H_{12}$	—	0,000001	0,000001	—
Мазутная зола	—	0,002	—	—
Пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20–70%	0,3	0,1	—	—
Зола углей	—	—	—	0,3

Источник: подготовлено авторами на основе анализа СанПиН 1.2.3685-21.

[1] Постановление Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения». https://base.garant.ru/70144110/?ysclid=m82x2l2m82131373086.

[2] За исключением утверждения генерального плана в установленном законодательством о градостроительной деятельности порядке, изменения срока, на который утвержден генеральный план, либо в случае, если срок действия схемы теплоснабжения (актуализированной схемы теплоснабжения) составляет менее 5 лет. В указанных случаях разрабатывается проект новой схемы теплоснабжения.

[3] Письмо Минэнерго России от 15.04.2020 № МЮ-4343/09 «Об утверждении схем теплоснабжения поселений, городских округов». https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73896578/?ysclid=m82qcoua2x611919392.

[4] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.10.2023 № 2909-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды и признании утратившими силу некоторых Постановлений Правительства Российской Федерации». http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310230035?ysclid=m82qzlofoa566641787.

[5] Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022?ysclid=m82qgi3yaj304980243.

мативы ориентировочных безопасных уровней воздействия (далее – ОБУВ). В табл. 2 представлены нормативы ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, определенных Минэнерго России.

Согласно пункту 70 СанПиН 2.1.3684-21, не допускается превышение гигиенических нормативов содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе ≤ 1,0 ПДК (ОБУВ) в жилой зоне и ≤ 0,8 ПДК (ОБУВ) на территориях курортных зон, санаториев, домов отдыха, пансионатов, туристских баз, организованного отдыха населения, пляжей, парков, спортивных баз, лечебно-профилактических учреждений длительного пребывания и центров реабилитации[6].

В Российской Федерации государственный мониторинг качества атмосферного воздуха проводится на федеральных пунктах наблюдения сети Росгидромета (641 пункт в 222 городах в 2023 году)[7]. В ряде городов наблюдение за уровнем загрязнения окружающей среды также ведется и на региональном уровне, например:

– ГПБУ «Мосэкомониторинг» в Москве (56 автоматических станций)[8];
– СПб ГБУ «Минерал» в Санкт-Петербурге (25 стационарных станций)[9];
– КГБУ «ЦРМПиООС» в Красноярске (17 автоматизированных постов наблюдений)[10].

Таблица 3
Количество источников теплоснабжения в Российской Федерации в 2022 году по мощности
Table 3
Number of heat supply sources in the Russian Federation in 2022 by capacity

Источник теплоснабжения	Мощность	Количество
Когенерационные тепловые электростанции	< 25 тыс. кВт	225
	> 25 тыс. кВт	170
Котельные	< 3 Гкал•ч	56876
	3–20 Гкал•ч	13319
	20–100 Гкал•ч	2453
	> 100 Гкал•ч	598
Электробойлерные, прочие	—	1180

Источник: подготовлено авторами на основе отчета Минэнерго России за 2022 год. https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rf-2022-?docs-group=file-295051.

Требования к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды утверждены приказом Минприроды России от 30.07.2020 № 524[11].

Выбросы ЗВ в атмосферный воздух стационарными источниками регулируются государством в соответствии с пунктом 3 Постановления Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 № 2055[12]. Объекты теплоснабжения должны соблюдать следующие нормативы:

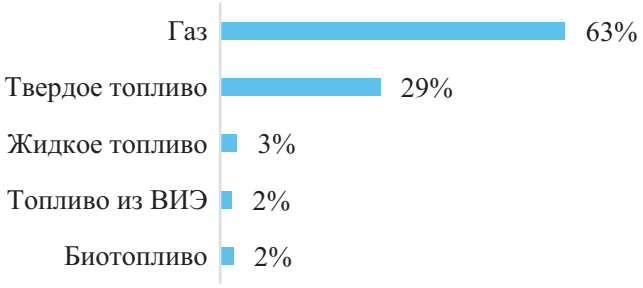
– предельно допустимые выбросы (нормативы допустимых выбросов);
– технологические нормативы выбросов;
– предельно допустимые нормативы вредных физических воздействий на атмосферный воздух;
– технические нормативы выбросов.

В соответствии с отчетом Минэнерго России «О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2022 году» (далее – отчет Минэнерго России за 2022 год) в РФ в 2022 году действовало 395 когенерационных тепловых электростанций и около 74,4 тысячи отопительных котельных (табл. 3)[13].

Источники теплоснабжения в Российской Федерации используют следующие виды топлива: газ, твердое топливо (уголь, торф, пеллеты и др.), жидкое топливо, топливо из возобновляемых источников энергии и биотопливо. Структура топлива источников теплоснабжения в Российской Федерации в 2022 году представлена на рис. 1.

Согласно Информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям ИТС 38–2024 [Ин-

Рис. 1. Структура топлива источников теплоснабжения в 2022 году (%)
Fig. 1. Fuel structure of heat supply sources in 2022 (%)



Источник: подготовлено авторами на основе Отчета Минэнерго России за 2022 год. https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rf-2022-?docs-group=file-295051.

[6] Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий"». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102050027?ysclid=m82qkbxy2o246511165.

[7] Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2023 год. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Москва, 2024. https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/.

[8] https://mosecom.mos.ru/.

[9] https://mineral.kpoos.gov.spb.ru/.

[10] http://krasecology.ru/About/Index.

[11] Приказ Минприроды России от 30.07.2020 № 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012140051?ysclid=m82qm4ko3s896194726.

[12] Постановление Правительства Российской Федерации от 09.12.2020 № 2055 «О предельно допустимых выбросах, временно разрешенных выбросах, предельно допустимых нормативах вредных физических воздействий на атмосферный воздух и разрешениях на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух». http://government.ru/docs/all/131484/.

[13] Информационно-аналитический доклад «О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2022 году». Министерство энергетики Российской Федерации, 2023. https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rf-2022-?docs-group=file-295051.

формационно-технический справочник.., 2024], при сжигании органического топлива на тепловых электрических станциях (далее – ТЭС) основными видами выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются: диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода и зола твердого топлива и парниковый газ – диоксид углерода CO_2. Также образуются и другие загрязняющие вещества: бенз (а) пирен, сажа, твердые частицы несгоревшего топлива.

Таким образом, государством установлены нормы и стандарты, направленные на минимизацию негативного воздействия источников теплоснабжения на окружающую среду.

1. Обзор научной литературы

Вопросы экологической безопасности теплоснабжения неоднократно рассматривались в научной литературе.

В исследовании Национального исследовательского университета «МЭИ» [Чехранова, Гашо, 2020] проанализирована работа теплоэнергетического комплекса Красноярска. Авторами изучались потенциальные эффекты минимизации воздействия системы теплоснабжения на атмосферный воздух за счет увеличения отпуска тепловой энергии от ТЭС путем перераспределения тепловой нагрузки с котельных на ТЭС с последующим выводом или консервацией котельных. Данная практика оправдана с учетом более высоких дымовых труб на ТЭС, а также более низким удельным расходом топлива при выработке тепловой энергии, что позитивно сказывается на объеме выбросов и рассеивании загрязняющих веществ от источников теплоснабжения.

В работе [Гашо и др., 2019] изучалась степень влияния автотранспорта, производства тепловой и электрической энергии на электрических станциях и котельных на экологическую и климатическую системы Москвы. Авторами установлено, что реализуемая в Москве политика энергосбережения в части сокращения потерь тепловой энергии привела к годовому снижению расхода газа на источниках тепловой энергии на 7% в 2018 году и снижению валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города на 3,3 тыс. т/год.

В названных работах оценивалась эффективность конкретных мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ и минимизацию их концентраций в атмосферном воздухе. Нужно отметить, что в настоящий момент отсутствует утвержденный методологический подход к вопросу проведения комплексной оценки экологической безопасности теплоснабжения городов с учетом требований и методик, определенных приказами Минприроды России №273[14] (далее – методика №273) и №813[15] (далее – методика №813).

2. Задача исследования

Задача настоящего исследования заключается в предложении методологического подхода формирования раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения» в составе схемы теплоснабжения с учетом рекомендаций письма Минэнерго России. Предложенный методологический подход в работе ограничен только оценкой экологической безопасности теплоснабжения в части охраны атмосферного воздуха.

На территории Российской Федерации действует процедура проведения экспертизы программ для ЭВМ, используемых для расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (за исключением выбросов радиоактивных веществ), на соответствие методике №273 согласно Приказу Минприроды России от 20.11.2019 №779[16]. В рамках данной работы авторами также предложен анализ действующих расчетных программ и дана оценка возможности их интеграции для решения комплексной задачи по формированию раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения» в схемах теплоснабжения. Разработанный подход будет актуален для городов, входящих в эксперимент по квотированию выбросов ЗВ в атмосферный воздух в рамках федерального проекта «Чистый воздух» согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации от 07.07.2022 №1852-р[17].

Оценка экологической безопасности теплоснабжения города должна строиться поэтапно с учетом действующих требований нормативных актов, а также на основе принципа минимизации ручной обработки данных и расчетов:

1) формирование базы данных об источниках выбросов и постах мониторинга;
2) внесение данных в сертифицированное расчетное программное обеспечение (например, «Интеграл», «ЭКОцентр», «Логус», «ЭРА»);
3) проведение расчетов выбросов и рассеивания загрязняющих веществ с учетом внешних условий (включая метеоусловия) с использованием сертифицированного расчетного ПО;
4) формирование электронной модели воздействия объектов теплоэнергетики на атмосферный воздух с использованием геоинформационного программного обеспечения (далее – ГеоПО);
5) обработка результатов расчетов рассеивания загрязняющих веществ;
6) генерация проекта раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения» для схемы теплоснабжения.

Первый этап формирования базы данных об источниках выбросов загрязняющих веществ и постах наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха включает формирование реестров теплоснабжающих организаций,

[14] Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708110012?ysclid=m82qujzx7t214321841.
[15] Приказ Минприроды России от 29.11.2019 № 813 «Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260018?ysclid=m82qv8wd32613657367.
[16] Приказ Минприроды России от 20.11.2019 № 779 «Об утверждении порядка проведения экспертизы программы для электронных вычислительных машин, используемой для расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (за исключением выбросов радиоактивных веществ)». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260037?ysclid=m82qw70jnt555713095.
[17] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.07.2022 № 1852-р «Об утверждении Перечня городских поселений и городских округов с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха, дополнительно относящихся к территориям эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ». http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207080032?ysclid=m82qxylj1o596954812.

объектов теплоснабжения, теплогенерирующего оборудования, дымовых труб.

Второй этап предполагает перенос данных из базы данных в сертифицированное ПО, соответствующее требованиям нормативных документов Минприроды России. В сертифицированном ПО отражаются ключевые атрибуты всех информационных объектов, включая использование топлива, характеристики газовоздушной смеси и параметры источников выбросов (высоту, диаметр устья труб, наличие многоствольных труб).

Третий этап включает заполнение данных и уточнение параметров для расчета:

- указание метеорологических характеристик и коэффициентов, определяющих условия рассеивания выбросов ЗВ в атмосферный воздух (на основании данных за многолетний период наблюдений);
- указание фоновых концентраций по ЗВ на постах учета фона;
- выбор веществ для расчета и для учета фона;
- указание расчетных областей с внесением расчетных точек;
- определение размеров расчетной сетки территории;
- формирование слоев (промзоны, жилые, охранные, санитарно-защитные) с полигонами.

Четвертый этап включает разработку электронно-расчетной модели на основе ГеоПО. В данном случае требуется обеспечить выгрузку слоев пространственных данных: объекты, дымовые трубы, посты мониторинга, расчетные точки, изолинии полей рассеивания по каждому загрязняющему веществу. Дополнительно также могут наноситься санитарно-защитные зоны (далее – СЗЗ), зоны жилой застройки и особо охраняемые природные территории (далее – ООПТ).

Пятый этап подразумевает анализ результатов расчетов, включая:

- оформление результатов расчетов в виде карт-схем населенного пункта с изолиниями результатов расчета рассеивания ЗВ;
- определение вклада источников тепловой энергии в концентрации ЗВ в расчетных точках;
- определение источников тепловой энергии с наибольшими вкладами в приземную концентрацию ЗВ;
- определение ЗВ с превышениями гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха выше 0,8 ПДК в точках, расположенных в границах ООПТ, и выше 1 ПДК в других расчетных точках.

На шестом этапе формируется текстовое описание результатов со структурированием выводов в нескольких разрезах: по теплоснабжающим организациям и объектам, по территориальному делению населенного пункта, по загрязняющим веществам, по постам мониторинга и расчетным точкам.

Для обоснованности предлагаемого подхода оценивается эффективность, в том числе необходимое время и трудозатраты для реализации этапов предлагаемого подхода. Для оценки эффективности принимаемых решений на каждом этапе проводился эксперимент путем сравнения затрачиваемых временных ресурсов на выполнение с применением алгоритмов автоматизации и без их применения. Результаты проведения эксперимента описаны в следующем разделе настоящей статьи.

3. Практическая значимость

Предложенный подход был реализован на примере схемы теплоснабжения Москвы за два наиболее актуальных периода (актуализация на 2024 и 2025 годы) с целью анализа существующего воздействия объектов теплоэнергетики на воздушный бассейн и климат города.

Совокупно было рассмотрено 325 объектов теплоснабжения, входящих в схему теплоснабжения Москвы по состоянию на 01.01.2022 и 01.01.2023, в том числе 687 источников выбросов (дымовых труб), 1278 источников загрязнения (котлов). Для формирования базы данных были направлены формы для заполнения теплоснабжающими организациями. Далее была осуществлена верификация исходных данных на основе разработанных правил форматно-логического контроля: установление доверительных диапазонов для параметров источников загрязнений (высота, диаметр труб и др.), логические правила для расчетных показателей (например, проверка валовых значений выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов по объему используемого топлива и отпуска тепловой энергии).

Исходные данные были загружены и обработаны с использованием системы управления базами данных PostgreSQL (используется в программных продуктах, включенных в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных, также входит в состав базовых сервисов ЕЦП «ГосТех»).

На основе полученных результатов был создан реестр источников выбросов загрязняющих веществ, который использовался для расчета концентраций загрязняющих веществ (рис. 2).

На втором этапе внесения данных был осуществлен перенос данных из базы данных в сертифицированное расчетное ПО «Интеграл».

Вводилась кодировка для обеспечения информационной привязки всех источников по следующей цепочке: организация, объект, дымовая труба. Например, дымовая труба ТЭЦ-23 ПАО «Мосэнерго» была кодифицирована как ОТ312_Т0003, где ОТ – объект теплоснабжения, 312 – порядковый номер объекта теплоснабжения в реестре, Т0003 – порядковый номер дымовой трубы.

Алгоритм для автоматизированного внесения сведений из базы данных в сертифицированное ПО «Интеграл» был разработан на языке программирования Python. Таким образом, формируется независимость исходной базы данных от используемого сертифицируемого ПО для проведения расчетов рассеивания загрязняющих веществ. Данный подход позволяет минимизировать количество ошибок при внесении исходных данных в сертифицированное ПО и сократить временные издержки на обновление и корректировку данных. Следует отметить, что сертифицированное программное обеспечение не охватывает весь перечень задач, указанных в рекомендациях письма Минэнерго России, включая расчет выбросов парниковых газов, обращение с отходами производства и потребления, а также сбросы воды.

На данном этапе достигнут эффект экономии времени до 100 часов за счет исключения ручного переноса данных и необходимости повторных проверок.

В ходе третьего этапа был проведен предварительный и уточненный расчет максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ и расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ в программно-расчетном комплексе «Интеграл». Одним из этапов автоматизированного расчета являлось внесение метеорологических характеристик и коэффициентов, определяющих условия рассеивания выбросов ЗВ в атмосферный воздух. В качестве источника данных о метеорологических условиях использовалась краткая метеорологическая характеристика для Москва по данным наблюдений метеорологической станции федерального пункта наблюдения сети Росгидромета (ФГБУ «Центральное УГМС»).

Предварительные и уточненные расчеты приземных концентраций были проведены для следующих загрязняющих веществ и комбинаций вредного действия ЗВ при совместном присутствии в атмосферном воздухе (эффект суммации):

- азота диоксид (0301);
- азота оксид (0304);
- углерода оксид (0337);
- бенз (а) пирен (0703);
- серы диоксид (0330);
- мазутная зола (в пересчете на ванадий – 2904);
- азота диоксид и серы диоксид (6204);
- все вещества (объединенный результат).

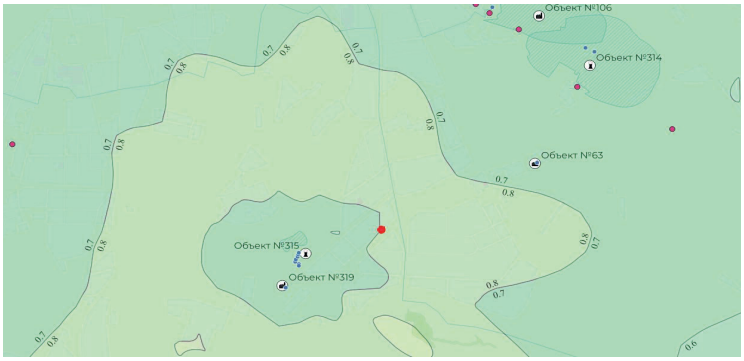
Результаты предварительных расчетов были сопоставлены с данными постов наблюдений федеральной сети Росгидромета для выявления несоответствий с целью корректировки исходных данных для проведения уточненных расчетов концентраций загрязняющих веществ в соответствии с методикой №813.

На следующем этапе была сформирована электронная модель воздействия объектов теплоэнергетики на атмосферный воздух с использованием ГеоПО с открытым исходным кодом, на базе которого допускается разработка отечественного программного обеспечения, включаемого в состав Единого реестра для электронных вычислительных машин и баз данных. В геоинформационной модели были созданы следующие слои:

- расчетные точки: вблизи объектов теплоэнергетики, посты мониторинга федерального уровня ФГБУ «Центральное УГМС», посты мониторинга регионального уровня ГПБУ «Мосэкомониторинг», на границе охранных зон, на границе СЗЗ;
- зоны: промышленные, жилые, охранные и СЗЗ;
- источники выбросов загрязняющих веществ;
- источники теплоснабжения;
- результаты расчета рассеивания загрязняющих веществ в виде изолиний.

Разработанная модель была сформирована в виде независимого единого геоинформационного файла, который обеспечивает интерактивную визуализацию пространственного распределения загрязняющих веществ в атмосфере. Для создания модели был использован алгоритм, включающий обработку и перенос сформированных результатов из программно-расчетного комплекса «Интеграл» в ГеоПО. Данная модель также может быть интегрирована в электронную модель схемы теплоснабжения, в том числе для формирования электронных моделей схем теплоснабжения (ZuluThermo, CityCom и др.). Пример визуального представления результатов моделирования приведен на рис. 2.

Рис. 2. Визуализация геоинформационной модели с отображением объектов теплоснабжения, источников выбросов ЗВ, СЗЗ, жилых территорий, полей рассеивания (изолинии) и результатов расчета приземных концентраций в контрольных точках
Fig. 2. Visualisation of a geo-information model showing heat supply facilities, pollutant emission sources, sanitary protection zones, residential areas, dispersion fields (isolines) and the results of the calculation of ground concentrations at control points



Источник: подготовлено авторами.

В результате автоматизации данного этапа работы была установлена экономия времени до 50 часов на одну итерацию процесса визуализации и представления данных.

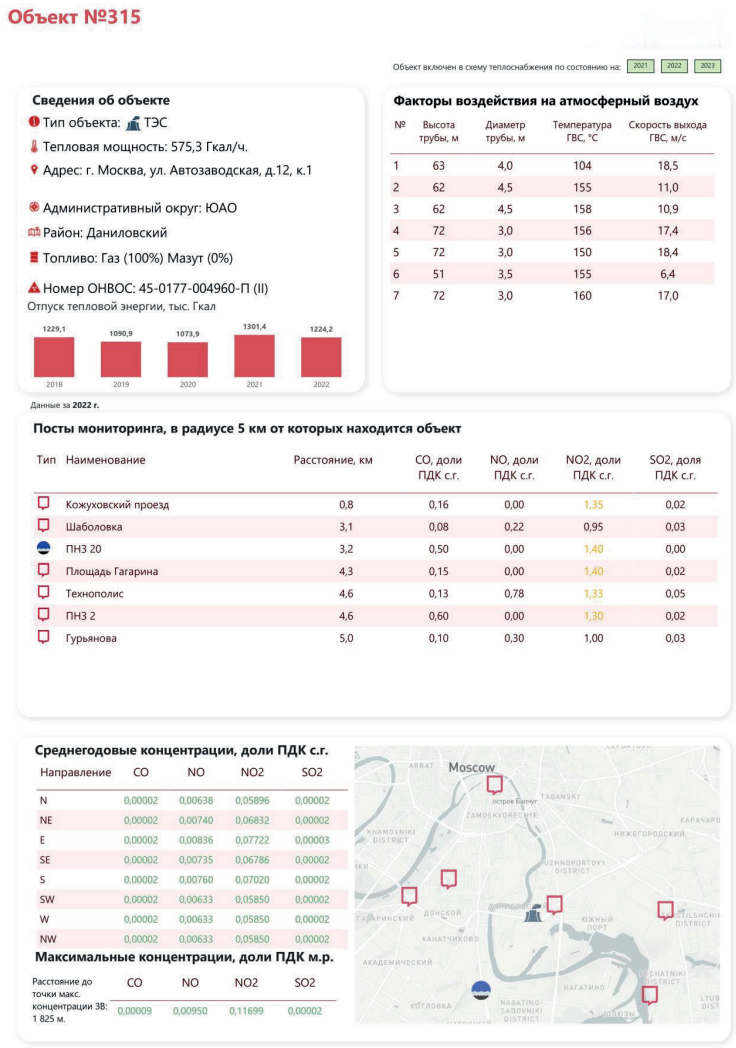
Этап обработки результатов расчетов рассеивания включал в себя следующие виды работ:

- разработку алгоритма для автоматической обработки результатов расчетов рассеиваний ЗВ;
- внесение результатов в базу данных;
- формирование паспортов объектов теплоснабжения с информацией о каждом объекте, включая его характеристики, технические параметры и ближайшие посты мониторинга атмосферного воздуха (рис. 3);
- формирование паспортов постов мониторинга, содержащие сведения о расположении постов, контролируемых загрязняющих веществах и их концентрациях в атмосферном воздухе (рис. 4).

Формирование проекта текста раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения» схемы теплоснабжения может производиться с использованием конструктора отчетов ООО «Цикл-Он» – «Термо Карб-Он», обеспечивающего генерацию текстового описания результатов расчетов в привязке к базе данных. На примере Москвы итоговый раздел содержит: 325 паспортов объектов, 68 паспортов постов мониторинга, анализ по 12 административным округам, включая анализ по объектам за пределами Москвы, анализ по 4 веществам и группам суммации, по которым формируются выбросы от объектов теплоснабжения, а также по 143 расчетным точкам.

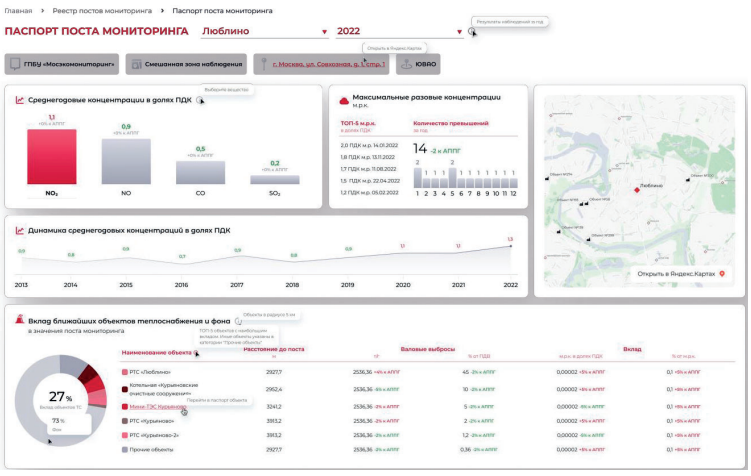
В результате автоматизации обработки результатов расчетов рассеивания и текстовой генерации предполагается экономия времени до 80 часов на обработку данных и написание текстов.

Рис. 3. Пример паспорта объекта
Fig. 3. Facility certificate



Источник: подготовлено авторами.

Рис. 4. Пример паспорта поста мониторинга
Fig. 4. Example of a surveillance pass



Источник: подготовлено авторами.

В табл. 4 приведены инструменты для автоматизации процессов с целью снижения трудовых затрат на проведение комплексной оценки экологической безопасности теплоснабжения на примере Москвы.

Таблица 4
Эффекты автоматизации этапов комплексной оценки экологической обстановки на примере Москвы
Table 4
Effects of automating the stages of complex environmental assessment on the example of Moscow

Этапы		Эффекты	
№	Название этапа	Экономия времени (час. на 1 итерацию)	Описание эффекта
1	Сбор и систематизация полученных данных	100	Исключена необходимость ручного ввода и агрегирования данных, минимизируются ошибки формата данных и технические ошибки
2	Автоматизация внесения сведений из БД в расчетное ПО «Интеграл»	40	Исключена необходимость ручного ввода данных при переносе в сертифицированное ПО
4	Формирование электронной модели воздействия объектов теплоэнергетики на атмосферный воздух	50	Исключена необходимость вручную консолидировать результаты расчетов рассеивания в единую геоинформационную модель (слой на каждое вещество и каждую расчетную сетку)
5	Обработка результатов расчетов рассеивания загрязняющих веществ	20	Исключена необходимость ручной обработки результатов, агрегирования результатов
6	Формирование проекта раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения»	60	Минимизируются трудозатраты на написание текстового описания результатов расчетов и затраты на переработку описания при обновлении данных и расчетов

Источник: подготовлено авторами.

Выводы

В настоящее время отсутствует утвержденный методологический подход по реализации рекомендаций Минэнерго России в части формирования комплексной оценки экологической безопасности схем теплоснабжения населенных пунктов.

В рамках данной статьи предложен подход формирования раздела «Экологическая безопасность теплоснабжения» схем теплоснабжения с учетом реко-

мендаций Минэнерго России, в том числе с использованием автоматизированных алгоритмов. Апробация подхода на примере схемы теплоснабжения Москвы позволила сформировать масштабируемый инструментарий для оценки экологической безопасности теплоснабжения городов.

Предложенный методологический подход может быть применен при разработке схем теплоснабжения в городах, имеющих обязательства по разработке и актуализации электронной модели схемы теплоснабжения. Также подход может быть использован в работе государственных и муниципальных органов власти в рамках подготовки задания на разработку и актуализацию схем теплоснабжения и при проведении процедур по ее согласованию и утверждению. Предложенный подход особенно актуален для городов, входящих в эксперимент по квотированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в рамках федерального проекта «Чистый воздух».

В качестве дальнейших путей развития настоящего исследования возможна также разработка автоматизированных программных продуктов, позволяющих формировать раздел «Экологическая безопасность теплоснабжения», в том числе за счет интеграции с сертифицированными расчетными программами ЭВМ, которые проводят расчет рассеивания загрязняющих веществ по методике № 273.

Литература

Гашо Е.Г., Гужов С.В., Белобородова А.С., Гукова Н.В. (2019). Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегаполиса на примере Москвы. *Надежность и безопасность энергетики*, 11(3): 190–199.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 38–2024 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии» (2024). Росстандарт. https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT/actualizationdirectory2024.

Чехранова О.А., Гашо Е.Г. (2020). Исследование и разработка схем теплоснабжения для эффективного использования энергоресурсов на примере Красноярска. В: *Энергосбережение. Теория и практика:* труды X международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, 19–23 октября 2020 г., Москва. Москва, НИУ МЭИ: 425–428.

References

Gasho E.G., Guzhov S.V., Beloborodova A.S., Gukova N.V. (2019). The impact of water vapor emissions from the operation of thermal power plants, boilers and vehicles on local climatic changes and climate adaptation of a megalopolis using the example of Moscow. *Reliability and Safety of Energy*, 11(3): 190-199. (In Russ.)

Information and technical handbook on the best available technologies ITS 38-2024 'Fuel combustion in large installations for energy production' (2024). Rosstandart. https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT/actualizationdirectory2024. (In Russ.)

Chehranova O.A., Gasho E.G. (2020). Research and development of heat supply schemes for efficient use of energy resources using the example of Krasnoyarsk. In: *Energy saving. Theory and practice*: Proceedings of the X International school-seminar for young scientists and specialists, October 19-23, 2020, Moscow. Moscow, NIU MEI: 425-428. (In Russ.)

Информация об авторах

Никита Андреевич Осокин
Кандидат экономических наук, генеральный директор, ООО «Центр цифровых решений «Цикл-Он» (Москва, Россия); Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия). ORCID: 0000-0003-1417-328X.
Область научных интересов: экономика замкнутого цикла, низкоуглеродная экономика, промышленная экология, цифровая трансформация.
naosokin@cycle-on.ru

Андрей Геннадьевич Максимов
Директор Департамента развития электроэнергетики, Министерство энергетики Российской Федерации (Москва, Россия).
Область научных интересов: электроэнергетика, экономический анализ и моделирование в области мировой и российской энергетики, развитие возобновляемой энергетики.
minenergo@minenergo.gov.ru

Андрей Александрович Куров
Директор департамента анализа данных, ООО «Центр цифровых решений «Цикл-Он» (Москва, Россия). ORCID: 0009-0004-2118-7465.
Область научных интересов: теплоэнергетика, энергоэффективность, низкоуглеродная экономика, промышленная экология, цифровая трансформация.
aakurov@cycle-on.ru

Ирина Юрьевна Золотова
Генеральный директор, Национальная ассоциация развития вторичного использования сырья (АРВИС) (Москва, Россия); Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва, Россия). ORCID: 0000-0002-5580-7894.
Область научных интересов: экономика замкнутого цикла, низкоуглеродная экономика, промышленная экология, система государственного регулирования естественных монополий.
iyzolotova@arvis.online

About the authors

Nikita A. Osokin
Candidate of economic sciences, CEO, LLC Digital Solutions Center 'Cycle-On' (Moscow, Russia); Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia). ORCID: 0000-0003-1417-328X.
Research interests: circular economy, low-carbon economy, industrial ecology, and digital transformation.
naosokin@cycle-on.ru

Andrey G. Maximov
Director of the Department of Electric Power Development, Ministry of Energy of Russian Federation (Moscow, Russia).
Research interests: electric power industry, economic analysis and modeling in global and Russian energy sectors, renewable energy development.
minenergo@minenergo.gov.ru

Andrey A. Kurov
Director of the Data Analysis Department, LLC Digital Solutions Center 'Cycle-On' (Moscow, Russia). ORCID: 0009-0004-2118-7465.
Research interests: thermal power engineering, energy efficiency, low-carbon economy, industrial ecology, digital transformation.
aakurov@cycle-on.ru

Irina Yu. Zolotova
CEO, National Association of Secondary Material Application (NASMA) (Moscow, Russia); Financial University under the Government of the Russian Federation (Moscow, Russia). ORCID: 0000-0002-5580-7894.
Research interests: circular economy, low-carbon economy, industrial ecology, system of state regulation of natural monopolies.
iyzolotova@arvis.online

作者信息

Nikita A. Osokin
经济学副博士, 总经理, Cycle-ON 数字解决方案中心有限责任公司（俄罗斯,莫斯科）; 俄罗斯联邦政府金融大学（俄罗斯,莫斯科）. ORCID: 0000-0003-1417-328X.
科学兴趣：循环经济、低碳经济、工业生态学、数字化转型。
naosokin@cycle-on.ru

Andrey G. Maximov
电力工业发展部主任, 俄罗斯能源部（俄罗斯，莫斯科）.
科学兴趣：电力行业、全球和俄罗斯能源行业的经济分析和建模、可再生能源开发。
minenergo@minenergo.gov.ru

Andrey A. Kurov
数据分析部主任, Cycle-ON 数字解决方案中心有限责任公司（俄罗斯,莫斯科）. ORCID: 0009-0004-2118-7465.
科学兴趣： 火力发电、能源效率、低碳经济、工业生态学、数字化转型。
aakurov@cycle-on.ru

Irina Yu. Zolotova
总经理, 国家原材料回收发展协会（俄罗斯，莫斯科); 俄罗斯联邦政府金融大学（俄罗斯,莫斯科）. ORCID: 0000-0002-5580-7894.
科学兴趣： 闭环经济、低碳经济、工业生态学、国家对自然垄断的监管体系。
iyzolotova@arvis.online

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; после рецензирования 15.02.2025 принята к публикации 20.02.2025. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The article was submitted on 27.01.2025; revised on 15.02.2025 and accepted for publication on 20.02.2025. The authors read and approved the final version of the manuscript.
文章于 27.01.2025 提交给编辑。文章于 15.02.2025 已审稿。之后于 20.02.2025 接受发表。作者已经阅读并批准了手稿的最终版本。