

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco81240>

# Оценка потенциала снижения уровня заболеваемости органов дыхания населения города Москвы в результате внедрения наилучших доступных технологий

Н.В. Звонкова, О.А. Локтионов, О.Е. Кондратьева

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Целью исследования** является оценка потенциала снижения уровня заболеваемости органов дыхания среди населения Москвы в результате внедрения наилучших доступных технологий на объектах I и II категории негативного воздействия на окружающую среду (НВОС).

**Материал и методы.** Массив исходных данных сформирован с помощью разработанного авторами скрипта-парсера в среде программирования Python. Определение географических координат расположения промышленных объектов и их территориальная привязка к административным округам г. Москвы проведены с использованием JavaScript API Геокодера Яндекса. Для выявления взаимосвязи между показателями заболеваемости населения города Москвы и индексами сравнительной неканцерогенной опасности реализован регрессионный и корреляционный анализ. Математическая обработка статистических данных проведена с помощью интерпретируемого языка программирования R, пространственная территориальная привязка объектов НВОС осуществлена с помощью геоинформационной системы ESRI ArcGIS Online.

**Результаты.** Получена значимая связь между значениями индексов сравнительной неканцерогенной опасности для дыхательной системы от объема выбросов объектов I и II категории НВОС и заболеваниями органов дыхания для различных возрастных групп населения Москвы (дети — до 14 лет, подростки — от 15 до 17 лет, взрослые — старше 18 лет). Коэффициент Спирмена составил 0,84 ( $p < 0,05$ ), что соответствует сильной корреляции по шкале Чеддока, а показатель  $t$ -критерия Стьюдента выше критического при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . В рамках исследования определён потенциал снижения количества заболеваний органов дыхания населения г. Москвы, который варьирует в диапазоне 1,1–2,2% для детей, 1,2–2,5% — для подростков, 1,0–2,0% — для взрослых в зависимости от сценария внедрения наилучших доступных технологий на объектах I и II категории НВОС.

**Заключение.** В результате проведённых исследований разработана математическая модель, позволяющая определить значения потенциала снижения заболеваемости дыхательной системы при внедрении наилучших доступных технологий. Данная модель может быть использована при формировании региональных и федеральных программ по социально-экономическому развитию.

**Ключевые слова:** наилучшие доступные технологии; заболеваемость; органы дыхания; неканцерогенный риск; негативное воздействие на окружающую среду; атмосферный воздух.

## Как цитировать:

Звонкова Н.В., Локтионов О.А., Кондратьева О.Е. Оценка потенциала снижения уровня заболеваемости органов дыхания населения города Москвы в результате внедрения наилучших доступных технологий // Экология человека. Т. 29, № 4. С. 263–273. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco81240>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco81240>

# Assessment of reduced respiratory diseases in the Moscow population morbidity as a result of the implementation of the best available technology

Natal'ja V. Zvonkova, Oleg A. Loktionov, Olga E. Kondrateva

National research university "Moscow power engineering institute", Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

**AIM:** To examine the potential for lowering respiratory diseases in the Moscow population as a result of the implementation of the best available technology at objects of the I and II categories of negative environmental impact.

**MATERIAL AND METHODS:** The source data array was created by the authors using a parser script written in the Python computer language. The determination of the geographical coordinates of the location of industrial facilities and their territorial linkage to the administrative districts of the city of Moscow was carried out using the JavaScript API of the Yandex Geocoder. Regression and correlation analysis were used to determine the relationship between the morbidity indicators of the population of the city of Moscow and the indices of comparative non-carcinogenic danger. The mathematical processing of statistical data was carried out using the interpreted programming language R and the spatial territorial binding of negative impact on the environment objects was carried out using the ESRI ArcGIS Online geoinformation system.

**RESULTS:** A significant relationship was found between the values of the comparative non-carcinogenic danger indices to the respiratory system (arising from the volume of emissions from objects in the I and II categories of negative environmental impact) and respiratory diseases for various age groups of the population of the city of Moscow (children — up to 14 years old, adolescents — from 15 to 17 years old, adults — over 18 years old). The spearman's  $\rho$  coefficient was 0.84 ( $p < 0.05$ ), indicating a significant correlation on the Chaddock scale. The Student's  $t$ -test index was higher than the critical one at the significance level  $\alpha = 0.05$ . This study identified the potential for lowering the number of respiratory diseases in the population of Moscow, which varies in the range of 1.1%–2.2% for children, 1.2%–2.5% for adolescents, and 1.0–2.0 for adults, depending on the scenario for the implementation of the best available technologies at the facilities of the I and II categories of the negative environmental impact.

**CONCLUSION:** As a result of the research, a mathematical model has been developed, which allows determining the values of the potential for reducing the incidence of the respiratory system with the implementation of the best available technologies. This can be used in the formation of regional and federal programs for socio-economic development.

**Keywords:** best available technologies; morbidity; respiratory organs; non-carcinogenic risk; negative impact on the environment; atmospheric air.

## To cite this article:

Zvonkova NV, Loktionov OA, Kondrateva OE. Assessment of reduced respiratory diseases in the Moscow population morbidity as a result of the implementation of the best available technology. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(4):263–273. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco81240>

Received: 28.09.2021

Accepted: 25.04.2022

Published: 02.07.2022

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно докладом Всемирной организации здравоохранения [1], факторы экологического риска влияют на вероятность возникновения заболеваний по 85 категориям важнейших болезней из 102 возможных. Воздействия, связанные с факторами окружающей среды, включают увеличение показателей заболеваемости и смертности. Причём в зависимости от региона различается влияние экологических факторов на заболеваемость, вклад данной группы факторов колеблется в диапазоне 17–25% [2].

Отечественные исследователи [3–6] рассматривают увеличение количества антропогенных источников и соответственно выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от них как один из индикаторов роста количества респираторных заболеваний, включая острые респираторные инфекции и хронические обструктивные заболевания лёгких. Зарубежные специалисты в рамках исследований по оценке связи между загрязнением атмосферного воздуха и состоянием здоровья населения с помощью методов регрессионного и факторного анализа [7, 8], оценки относительного риска и расчёта этиологической доли возникновения заболеваний [9, 10] формируют выводы, что заболевания нижних дыхательных путей, связанные с загрязнением воздуха, ориентировочно на 20% обусловлены экологическими причинами [3, 11, 12].

Задача снижения загрязнения атмосферного воздуха для сохранения здоровья населения такого крупного мегаполиса, как Москва, не теряет своей актуальности долгие годы. Суммарный валовый выброс загрязняющих веществ более 7100 предприятий города Москвы, отнесённых к объектам I–IV категорий негативного воздействия на окружающую среду (далее НВОС), составил 142 тыс. тонн по итогам 2020 года [13]. Проведённый в работе анализ ежегодных государственных докладов о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения города Москвы [14], опубликованных Роспотребнадзором, позволил определить структуру заболеваемости населения и подтвердить высокую долю заболеваний органов дыхания (до 35% случаев от всех ежегодно зарегистрированных).

Анализ объёма валовых выбросов предприятий Москвы показывает, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха города вносят предприятия I категории НВОС, в соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (в редакции от 26.03.2022 г.) «Об охране окружающей среды» [15] являющиеся областью обязательного применения наилучших доступных технологий (НДТ), и предприятия II категории, на которых НДТ могут внедряться на добровольной основе. Одним из основных эффектов внедрения НДТ на промышленных предприятиях является снижение НВОС. Таким образом, целесообразно предположить, что следствием перехода крупных предприятий города Москвы на НДТ будет

являться снижение загрязнения атмосферного воздуха и соответствующее снижение заболеваемости населения мегаполиса.

**Цель исследования.** Оценка потенциала снижения уровня заболеваемости органов дыхания населения Москвы в результате внедрения наилучших доступных технологий на объектах I и II категории негативного воздействия на окружающую среду.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объекта ретроспективного анализа статистических данных выбран г. Москва. В исследовании использованы сведения Программно-технического обеспечения ведения учёта объектов НВОС (ПТО УОНВОС) [16] Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (в части идентификации объектов I и II категории НВОС на территории Москвы, их местоположения и численных оценок эмиссий загрязняющих веществ); базы данных по заболеваемости Департамента мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения Министерства здравоохранения РФ и Центрального научно-исследовательского института организации и информатизации здравоохранения Министерства здравоохранения РФ [17] и статистические ежегодные государственные доклады о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Управления Роспотребнадзора по городу Москве [14]; сведения территориального органа Федеральной службы государственной статистики о возрастном распределении населения города Москвы [18].

Процедура формирования массива исходных данных реализована с помощью разработанного авторами скрипта-парсера в среде программирования Python, позволяющего осуществлять автоматизированный процесс сбора контента об объектах I и II категории НВОС с шифром 45-XXXX-XXXXXX [19], который соответствует городу Москве, в соответствии с ресурсом ПТО УОНВОС Росприроднадзора [16].

На этапе оценки выбросов загрязняющих веществ от объектов I и II категории НВОС (по состоянию на 01.07.2021 г.) выделены маркерные вещества в зависимости от отраслевой принадлежности и на основании анализа 36 приказов Министерства природных ресурсов и экологии РФ об установлении технологических показателей НДТ. К наиболее распространённым маркерным веществам относятся: оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), монооксид углерода ( $\text{CO}$ ), взвешенные вещества (твёрдые частицы) (PM). Данные маркерные загрязняющие вещества также являются наиболее приоритетными для оценки качества атмосферного воздуха, они рекомендованы Всемирной организацией здравоохранения при расчёте показателя «индекс загрязнения атмосферы» [1].

Определение географических координат расположения промышленных объектов I и II категории НВОС и их территориальная привязка к административным округам

Москвы проведены с использованием JavaScript API Геокодера Яндекса.

Оценка значений индекса сравнительной неканцерогенной опасности (HRI) для всех промышленных объектов I и II категории НВОС и суммарно по административным округам Москвы осуществлена в соответствии с руководством Р 2.1.10.1920-04 [20] и методическими рекомендациями МР 5.1.0081-13 [21]. Структура и алгоритм расчёта индексов опасности, представленные в отечественных нормативных документах, являются адаптацией зарубежного опыта и основаны на разработанных в США Агентством по защите окружающей среды (U.S. Environmental protection agency, U.S. EPA) материалах руководства по оценке риска для здоровья населения от воздействия химических веществ. Значения HRI рассчитаны для каждого маркерного загрязняющего вещества, поступающего ингаляционно, как произведение количественных оценок валовых выбросов (т/год) и весовых коэффициентов влияния на здоровье (TW), варьируемых в зависимости от значений референсных, среднегодовых, среднесуточных и максимально-разовых концентраций. На основании полученных значений HRI для каждого объекта I и II категории НВОС проведены их агрегация по наиболее уязвимой системе — дыхательной (органы дыхания) и дифференциация по административным округам Москвы с учётом проживающего населения.

Оценки снижения выбросов маркерных загрязняющих веществ и, соответственно, значений HRI основаны на разработках авторского коллектива [22–24], включающих анкетирование, аудит предприятий и выработку рекомендаций по развитию и внедрению НДТ на объектах I и II категории НВОС г. Москвы. Концептуально предполагаемая модернизация технологического оборудования и/или использование газоочистных установок могут быть реализованы на базе трёх сценарных линий.

Сценарий № 1: снижение эмиссий маркерных загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения на 5–10%. Данный сценарий может быть достигнут при условии перехода на НДТ всех предприятий I категории г. Москвы.

Сценарий № 2: снижение эмиссий маркерных загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения на 15–25%. Реализация данного сценария возможна при переходе на НДТ не только всех предприятий I категории г. Москвы, но и самых крупных предприятий-загрязнителей II категории.

Сценарий № 3: снижение эмиссий маркерных загрязняющих веществ от стационарных источников загрязнения на 30–40%. Рассматриваемый сценарий предусматривает внедрение на всех предприятиях I категории и всех предприятиях II категории не только обязательных НДТ, но и наилучших экологических мировых практик.

С целью выявления взаимосвязи между показателями заболеваемости населения Москвы разных возрастных групп (дети — до 14 лет, подростки — от 15

до 17 лет, взрослые — старше 18 лет) и HRI для текущего и прогнозных сценариев внедрения НДТ на предприятиях г. Москвы реализован регрессионный и корреляционный анализ по рассматриваемым данным. Оценка связи между компонентами заболеваемости и HRI для объективности результатов проведена с помощью непараметрического метода — ранговой корреляции Спирмена, не имеющей ограничений по количеству данных и нормальности их распределения. Оценка статистической значимости полученных значений осуществлена с помощью t-критерия Стьюдента на уровне значимости  $\alpha=0,05$  для проверки нулевой гипотезы о равенстве нулю значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена. В качестве метода регрессионного анализа использована степенная модель, для которой оценены значения коэффициента детерминации, отражающего качество прогнозируемых значений относительно исходных данных, и значения F-критерия Фишера для проверки статистической значимости на уровне  $\alpha=0,01$ . Математическая обработка статистических данных и применение вышеописанных методов реализованы с помощью интерпретируемого языка программирования R, а пространственная территориальная привязка объектов НВОС осуществлена с помощью геоинформационной системы ESRI ArcGIS Online.

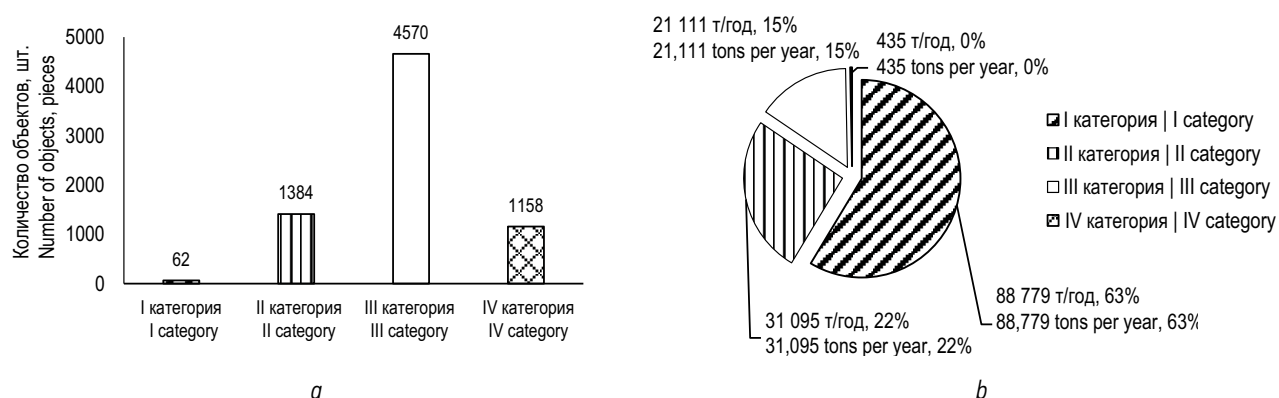
Оценка потенциального снижения уровня заболеваемости органов дыхания населения г. Москвы (детей, подростков, взрослых) при снижении выбросов маркерных загрязняющих веществ в атмосферных воздухах от объектов I категории и II категории НВОС и, как следствие, при снижении сравнительной неканцерогенной опасности проведена на основании следующей зависимости:

$$\Delta Z_j = Z_j \times \frac{HRI_i - HRI_{\text{маркер}_i}}{HRI_i} \times \rho_{Z, HRI_i} \times W_{oc} \times B_{Z_j}$$

где  $Z_j$  — общая заболеваемость дыхательной системы, количество случаев;  $HRI_{\text{маркер}_i}$  — индекс неканцерогенной опасности от выбросов маркерных веществ для органов дыхания;  $HRI_i$  — индекс неканцерогенной опасности для органов дыхания;  $\rho_{Z, HRI_i}$  — коэффициент ранговой корреляции Спирмена между заболеваемостью и HRI для дыхательной системы;  $W_{oc}$  — коэффициент, учитывающий влияние факторов окружающей среды на состояние здоровья населения ( $W_{oc}=0,2$ ) [1, 2];  $B_{Z_j}$  — доля j-й возрастной группы (дети, подростки, взрослые) в структуре возрастных характеристик населения Москвы [18].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании сведений из ПТО УОНВОС об объектах I–IV категории НВОС г. Москвы сформированы столбиковая диаграмма распределения предприятий по категориям (рис. 1, а) и круговая диаграмма суммарных валовых выбросов в т/год (рис. 1, б). Установлено, что вклад в загрязнение атмосферного воздуха от выбросов стационарных источников 20% предприятий города Москвы,



**Рис. 1.** Распределение: *a* — предприятий г. Москвы в зависимости от категории НВОС; *b* — суммарных выбросов предприятий города Москвы, т/год.

**Fig. 1.** Distribution: *a* — Moscow enterprises depending on the category of negative impact on the environment; *b* — total emissions of Moscow enterprises, tons per year.

относящихся к I и II категории НВОС, составляет 85% общего выброса.

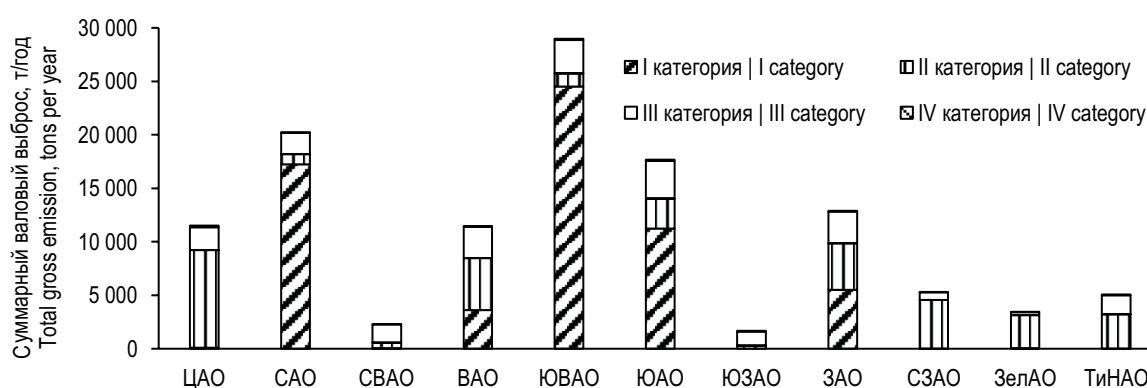
Результаты оценки распределения выбросов загрязняющих веществ от объектов НВОС г. Москвы различных категорий в разрезе административного деления приведены на рис. 2. Наибольшее количество выбросов приходится на Юго-Восточный, Северный и Южный административный округа Москвы, что связано с высокой плотностью расположения объектов I и II категории НВОС на этих территориях.

Для всех рассматриваемых административных округов в исследовании проведена оценка HRI для органов дыхания от выбросов маркерных загрязняющих веществ объектами I и II категории НВОС (рис. 3) как наиболее уязвимой системы, на которую ежегодно приходится 50% заболеваний среди всего населения с учётом половозрастного распределения [14].

С целью более детального представления связи между заболеваемостью и HRI для дыхательной системы приведено корреляционное поле с обозначением зависимостей по вышеуказанным параметрам в разрезе административных округов Москвы и возрастных групп (дети, подростки, взрослые старше 18 лет и всё население) (рис. 4).

На основании трёх разработанных сценарных подходов по внедрению НДТ на объектах I и II категории НВОС г. Москвы сформирована динамика потенциального снижения HRI для дыхательной системы (рис. 5) для каждого административного округа Москвы с учётом накопления.

Результаты оценки потенциального сокращения количества заболеваний дыхательной системы среди населения Москвы в разрезе рассматриваемых возрастных характеристик и для каждого административного округа на основании обозначенной ранее формулы и с учётом



**Рис. 2.** Распределение выбросов загрязняющих веществ от объектов I–IV категории негативного воздействия на окружающую среду по административным округам города Москвы, т/год.

Здесь и на рис. 3, 5: ЦАО — Центральный АО, САО — Северный АО, СВАО — Северо-Восточный АО, ВАО — Восточный АО, ЮВАО — Юго-Восточный АО, ЮАО — Южный АО, ЮЗАО — Юго-Западный АО, ЗАО — Западный АО, СЗАО — Северо-Западный АО, ЗелАО — Зеленоградский АО, ТТНАО — Троицкий и Новомосковский АО.

**Fig. 2.** Distribution of pollutant emissions from objects of category I–IV negative impact on the environment by administrative districts of the city of Moscow, tons per year.

Here and in fig. 3, 5: ЦАО — Central autonomous district, САО — Northern autonomous district, СВАО — North-Eastern autonomous district, ВАО — Eastern autonomous district, ЮВАО — South-Eastern autonomous district, ЮАО — Southern autonomous district, ЮЗАО — South-West autonomous district, ЗАО — Western autonomous district, СЗАО — North-Western autonomous district, ЗелАО — Zelenograd autonomous district, ТТНАО — Troitsk and Novomoskovsky autonomous district.



сведений о снижении HRI для дыхательной системы (см. рис. 5) приведены в табл.

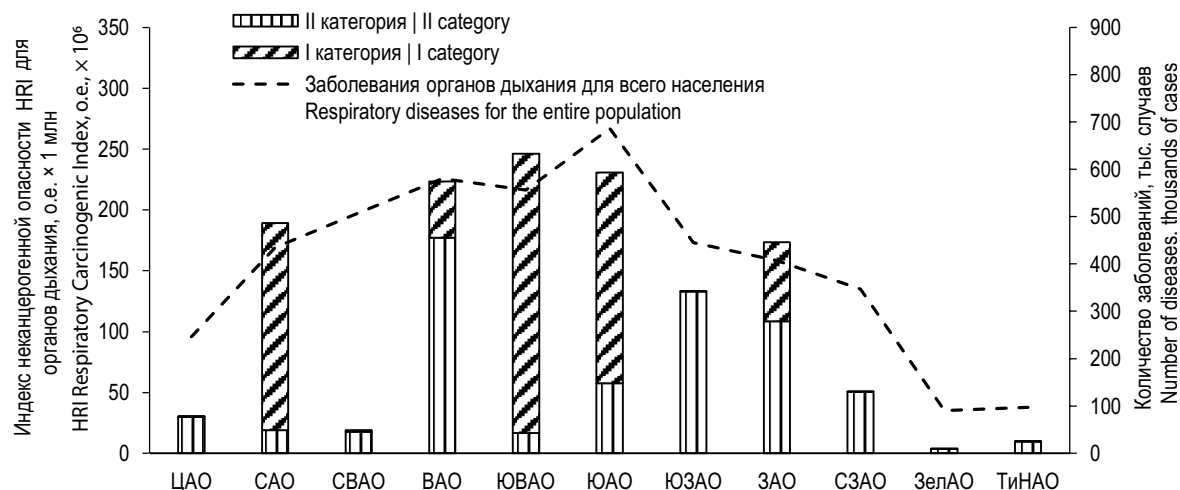
Показано потенциальное снижение заболеваемости детского, подросткового и взрослого населения в целом для всего города при внедрении НДТ на объектах I и II категории НВОС по трём сценариям (рис. 6).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что доля вклада в загрязнение атмосферного воздуха стационарных источников предприятий

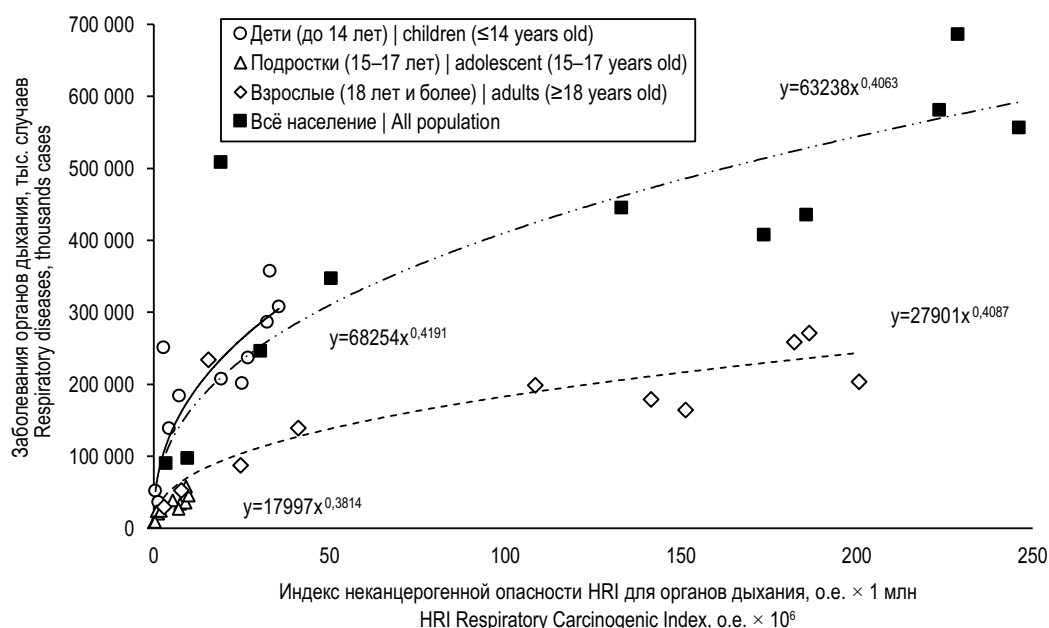
Москвы, которые отнесены к I и II категории НВОС, составляет 85%, причём наибольшее количество выбросов приходится на юго-восточный, северный и южный административный округа.

По результатам анализа статистических данных и проведённых расчетов получена статистически значимая связь между значениями HRI для дыхательной системы от маркерных веществ, выбрасываемых объектами I и II категории НВОС, и заболеваниями органов дыхания у различных возрастных групп населения г. Москвы. Коэффициент Спирмена равняется 0,84 ( $p < 0,05$ ),



**Рис. 3.** Распределение индексов неканцерогенной опасности для дыхательной системы и график распределения количества заболеваний органов дыхания по административным округам города Москвы; о.е. — относительные единицы (безразмерная величина) индекса неканцерогенной опасности HRI.

**Fig. 3.** Distribution of non-carcinogenic danger indices to the respiratory system and the graph of the distribution of the number of respiratory diseases by administrative districts of the city of Moscow; o.e. — relative units (dimensionless value) of non-carcinogenic danger indices.

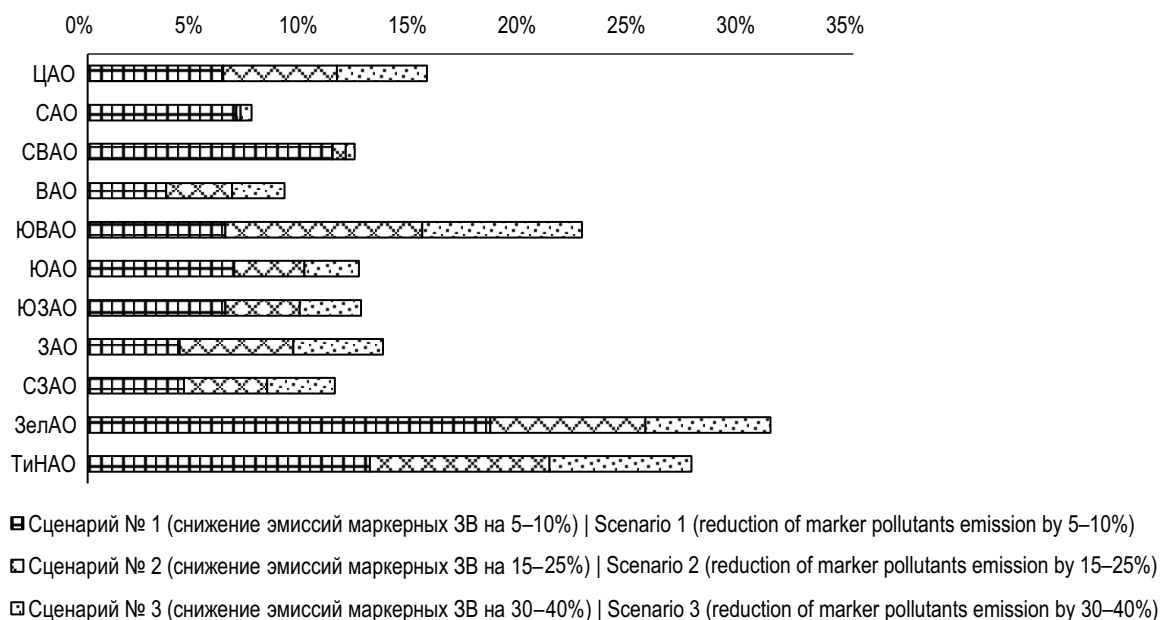


**Рис. 4.** Распределение количества заболеваний органов дыхания для различных возрастных групп населения города Москвы в зависимости от уровней индекса неканцерогенной опасности для дыхательной системы и их степенная аппроксимация.

**Fig. 4.** Distribution of respiratory diseases number for different age groups of the population of the city of Moscow, depending on the levels of the index of non-carcinogenic danger to the respiratory system and their power approximation.

что соответствует сильной корреляции по шкале Чеддока, а показатель t-критерия Стьюдента — выше критического при уровне значимости  $\alpha=0,05$ . Аппроксимации зависимостей рассматриваемых параметров HRI и заболеваний органов дыхания в виде графиков степенных функций также характеризуются высокими коэффициентами

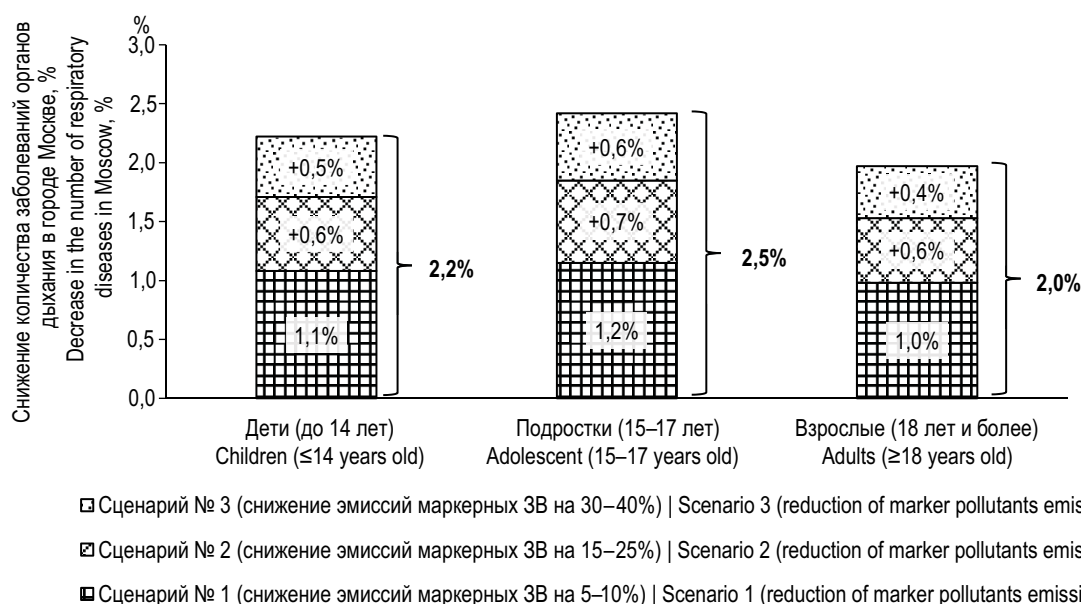
детерминации  $R^2 > 0,6$ , и значения F-критерия Фишера — выше критических при уровнях статистической значимости  $\alpha=0,01$ . Полученные регрессионные модели могут быть сформированы для любой из уязвимых систем человека и для любого органа, на которые оказывают влияние выбросы маркерных загрязняющих веществ,



**Рис. 5.** Значения потенциального снижения индексов неканцерогенной опасности для дыхательной системы населения города Москвы по административным округам, %.

Здесь: ЗВ — загрязняющие вещества.

**Fig. 5.** Potential reduction values of non-carcinogenic hazard indices for the respiratory system of the population of the city of Moscow by administrative districts, %.



**Рис. 6.** Распределение потенциального снижения количества заболеваний органов дыхания в различных возрастных группах населения города Москвы при внедрении наилучших доступных технологий на объектах I и II категории негативного воздействия на окружающую среду по трём сценариям.

**Fig. 6.** Distribution of the potential respiratory diseases reduction of various age groups Moscow population with the best available technologies introduction at the objects of the I and II categories of negative impact on the environment according to three scenarios.

**Таблица 1.** Количество потенциально снижаемых случаев заболеваний органов дыхания населения Москвы при внедрении наилучших доступных технологий на объектах I и II категории негативного воздействия на окружающую среду для различных сценариев

**Table 1.** The number of potentially reduced cases of respiratory diseases of the Moscow population with the best available technologies introduction at the facilities of the I and II categories of negative impact on the environment for various scenarios

Административный округ Scenario line	Снижение эмиссий маркерных загрязняющих веществ   Decrease in emissions of marker pollutants									
	Сценарий № 1 (на 5–10%) Scenario 1 (5–10%)			Сценарий № 2 (на 15–25%) Scenario 2 (15–25%)			Сценарий № 3 (на 30–40%) Scenario 3 (30–40%)			
	Дети (до 14 лет) Children (≤14 years old)	Подростки (15–17 лет) Adolescent (15–17 years old)	Взрослые (18 лет и более) Adults (≥18 years old)	Дети (до 14 лет) Children (≤14 years old)	Подростки (15–17 лет) Adolescent (15–17 years old)	Взрослые (18 лет и более) Adults (≥18 years old)	Дети (до 14 лет)  Children (≤14 years old)	Подростки (15–17 лет) Adolescent (15–17 years old)	Взрослые (18 лет и более) Adults (≥18 years old)	
ЦАО	1392	219	789	2559	403	1450	3479	548	1972	
САО	2609	397	1633	2686	408	1681	2878	437	1801	
СВАО	4550	456	3826	4794	480	4031	4956	496	4168	
ВАО	1671	222	1359	3063	406	2491	4177	554	3397	
ЮВАО	3141	490	1870	7628	1190	4542	11268	1757	6709	
ЮАО	3876	667	2654	5727	986	3921	7173	1235	4911	
ЮЗАО	2119	421	1828	3262	648	2815	4204	835	3627	
ЗАО	1369	196	1098	3063	438	2457	4399	629	3528	
СЗАО	1311	182	894	2443	338	1665	3366	466	2295	
ЗелАО	1546	278	792	2142	386	1098	2621	472	1344	
ТихАО	751	193	988	1228	316	1616	1606	414	2113	
Всего   Total	24 333	3721	17 730	38 594	6001	27 767	50 127	7846	35 865	
Доля снижения относительно текущей заболеваемости, % The proportion of detection relative to registered prevalence, %	1,08	1,15	0,98	1,71	1,85	1,53	2,22	2,42	1,97	

Примечание: ЦАО — Центральный АО, САО — Северный АО, СВАО — Северо-Восточный АО, ВАО — Восточный АО, ЮВАО — Юго-Восточный АО, ЮАО — Южный АО, ЮЗАО — Юго-Западный АО, ЗАО — Западный АО, СЗАО — Северо-Западный АО, ЗелАО — Зеленоградский АО, ТихАО — Троицкий и Новомосковский АО.

Note: ЦАО — Central autonomous district, САО — Northern autonomous district, СВАО — North-Eastern autonomous district, ВАО — Eastern autonomous district, ЮВАО — South-Eastern autonomous district, ЮАО — Southern autonomous district, ЮЗАО — South-West autonomous district, ЗАО — Western autonomous district, СЗАО — North-Western autonomous district, ЗелАО — Zelenograd autonomous district, ТихАО — Troitsk and Novomoskovsky autonomous district.



и использованы для ориентировочного прогнозирования заболеваемости населения.

Процедура моделирования потенциального снижения HRI для дыхательной системы населения Москвы по административным округам показала нелинейность изменения индексов в зависимости от сценария внедрения НДТ и, соответственно, снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Вариация снижения HRI для дыхательной системы в случае выбора сценария № 1 составляет от 3,6 до 18,4%, сценария № 2 — от 6,6 до 25,5%, сценария № 3 — от 7,3 до 31,2%. Наиболее целесообразным и предпочтительным для реализации на объектах I и II категории НВОС г. Москвы является сценарий № 2 по итогам эколого-экономической оценки затрат, проведённой авторами исследования (неопубликованные данные).

Определён потенциал снижения количества заболеваний органов дыхания населения Москвы, который варьирует в диапазоне 1,1–2,2% для детей, 1,2–2,5% — для подростков, 1,0–2,0% — для взрослых в зависимости от сценария внедрения НДТ на объектах I и II категории НВОС, необходимых для минимизации выбросов маркерных загрязняющих веществ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого корреляционно-регрессионного анализа данных о выбросах маркерных загрязняющих веществ предприятиями, отнесёнными к I и II категории негативного воздействия на окружающую среду, соответствующих им индексам неканцерогенной опасности и сведений о заболеваниях органов дыхания населения Москвы различного возраста разработана математическая модель, позволяющая определить значения потенциала снижения заболеваемости дыхательной системы при внедрении наилучших доступных технологий. Данная модель может быть использована при формировании как региональных, так и федеральных программ по социально-экономическому развитию и медицинскому обслуживанию с учётом

природоохранного законодательства и требований по внедрению наилучших доступных технологий.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Вклад авторов.** Наибольший вклад распределён следующим образом: Н.В. Звонкова — статистический анализ данных и математическое моделирование; О.А. Локтионов — программная поддержка исследования и подготовка исходных данных к анализу; О.Е. Кондратьева — формирование проблемы и гипотезы, подготовка итоговой интерпретации результатов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Author contribution.** N.V. Zvonkova — statistical data analysis and mathematical modeling; O.A. Loktionov — software support for research and preparation of initial data for analysis; O.E. Kondrateva — formation of the problem and hypothesis, preparation of the final interpretation of the results. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

**Финансирование исследования.** Работа выполнена в рамках стратегического проекта Национального исследовательского университета «МЭИ» «Климатическая трансформация энергетической отрасли» при реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

**Funding source.** The work was carried out within the framework of the strategic project of the National research university "Moscow power engineering institute" "Climate transformation of the energy industry" in the implementation of the strategic academic leadership program "Priority 2030".

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** The authors declare the absence of any potential conflict of interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva : World Health Organization, 2021.
2. [www.who.int/publications/\[Internet\]](https://www.who.int/publications/[Internet].). COP26 special report on climate change and health: the health argument for climate action [дата обращения: 22.03.2022]. Доступ по ссылке: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240036727>
3. Чанчаева Е.А., Гвоздарева О.В., Гвоздарев А.Ю. Состояние атмосферного воздуха и здоровье детей в условиях возрастающей транспортной и теплоэнергетической нагрузки // Экология человека. 2019. Т. 26, № 11. С. 12–19. doi: 10.33396/1728-0869-2019-11-12-19
4. Петров С.Б. Эколого-эпидемиологическая оценка заболеваемости населения болезнями системы кровообращения и органов дыхания в зоне влияния атмосферных выбросов многоотопливной теплоэлектроцентрали // Экология человека. 2018. Т. 25, № 6. С. 18–24. doi: 10.33396/1728-0869-2018-6-18-24
5. Рюмина Е.В. Влияние экологической обстановки на человеческий потенциал: аспект здоровья // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 9-1 (48). С. 152–160. doi: 10.24411/2500-1000-2020-11002
6. Ревич Б.А. Приоритетные факторы городской среды, влияющие на качество жизни населения мегаполисов // Проблемы прогнозирования. 2018. № 3 (168). С. 58–66.
7. Sofianopoulou E., Rushton S.P., Diggle P.J., Pless-Mulloli T. Association between respiratory prescribing, air pollution and deprivation, in primary health care // J Public Health (Oxf). 2013. Vol. 35, No 4. P. 502–509. doi: 10.1093/pubmed/fdt107

8. Pascal M., Corso M., Chanel O., et al. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Aphekom project // *Sci Total Environ*. 2013. Vol. 449. P. 390–400. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.077
9. Khaniabadi Y.O., Daryanoosh M., Sicard P., et al. Chronic obstructive pulmonary diseases related to outdoor PM10, O3, SO2, and NO2 in a heavily polluted megacity of Iran // *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018. Vol. 25, N 18. P. 17726–17734. doi: 10.1007/s11356-018-1902-9
10. Cromar K., Gladson L., Jaimes Palomera M., Perlmutter L. Development of a health-based index to identify the association between air pollution and health effects in Mexico city // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, N 3. P. 372. doi: 10.3390/atmos12030372
11. Andersen Z.J., Hvidberg M., Jensen S.S., et al. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: a cohort study // *Am J Respir Crit Care Med*. 2011. Vol. 183, N 4. P. 455–461. doi: 10.1164/rccm.201006-0937OC
12. Белобородов С.С., Вильфанд Р.М., Гагарин В.Г., и др. Приоритеты климатической адаптации мегаполиса: люди, природа, техника. Алгоритм, стратегия и план действий. Москва, 2019.
13. Мосгорстат [Internet]. Единое хранилище данных Информационно-аналитической системы мониторинга комплексного развития города Москвы. [дата обращения: 28.06.2022]. Доступ по ссылке: <http://ehd.moscow/index.php>
14. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Управление Роспотребнадзора по г. Москве. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Москве в 2020 году. Москва, 2021. 217 с.
15. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». [дата обращения: 05.06.2022]. Режим доступа: <https://rpn.gov.ru/documents/legal/federal/>.
16. uonvos.rpn.gov.ru [Internet]. Программно-техническое обеспечение ведения учёта объектов НВОС Федеральной службы по надзору в сфере природопользования [дата обращения: 01.07.2021]. Доступ по ссылке: <https://uonvos.rpn.gov.ru/>
17. mednet.ru [Internet]. Заболеваемость населения г. Москвы [дата обращения: 24.06.2021]. Доступ по ссылке: <http://mednet.ru/ru/statistika/zabolevaemost-naseleniya.html/>.
18. <https://mosstat.gks.ru/> [Internet]. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по городу Москве // Население // Основные показатели [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://mosstat.gks.ru/folder/64634> (дата обращения: 24.06.2021)
19. Приказ Минприроды России от 23.12.2015 N 553 (редакция от 22.04.2022 г.) «Об утверждении порядка формирования кодов объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, и присвоения их соответствующим объектам». [дата обращения: 17.05.2022]. Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-23122015-n-553/>
20. Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. [дата обращения: 21.06.2022]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>
21. МР 5.1.0081-13 Определение порогов массовой неинфекционной заболеваемости и их использование в планировании надзорных мероприятий. [дата обращения: 21.06.2022]. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293772/4293772484.htm>
22. Borovkova A.M., Kondratyeva O.E., Anisimov R.A., Gasho E.G. Development of indicators to assess the effectiveness of the implementation of the best available technologies in the energy // 3rd International youth conference on radio electronics, electrical and power engineering (REEPE); IEEE; 11 March 2021. doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9388074
23. Семутникова Е.Г., Гашо Е.Г., Локтионов О.А. Энергоэкологическая модернизация промышленного комплекса Москвы: увязка энергосбережения и внедрения наилучших доступных технологий // *Промышленная энергетика*. 2021. № 4. С. 2–10. doi: 10.34831/EP.2021.55.34.001
24. Kondratyeva O.E., Roslyakov P.V., Loktionov O.A., et al. Developing the cost-estimation technique when switching to best available power technologies // *Thermal Engineering*. 2019. Vol. 66. N 7. P. 513–520. doi: 10.1134/S004060151907005X

## REFERENCES

1. World Health Organization. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization, 2021.
2. [www.who.int/publications/](https://www.who.int/publications/) [Internet]. *COP26 special report on climate change and health: the health argument for climate action* [cited: 2022 March 22]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240036727>
3. Chanchaeva EA, Gvozdeva OV, Gvozdev AY. Air quality and children's health: the role of increasing transport-related and thermal air pollution. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019;26(11):12–19. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2019-11-12-19
4. Petrov SB. Ecological and epidemiological assessment of morbidity diseases of the circulatory and respiratory systems in the zone of influence of atmospheric emissions of multifuel thermal station. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(6):18–24. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2018-6-18-24
5. Ryumina EV. The impact of the environmental situation on human potential: the health dimension. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2020;(9-1(48)):152–160. (In Russ). doi: 10.24411/2500-1000-2020-11002
6. Revich BA. Priority factors in urban environments that affect the quality of life for metropolitan populations. *Studies on Russian Economic Development*. 2018;29(3):267–273. doi: 10.1134/s1075700718030115
7. Sofianopoulou E, Rushton SP, Diggle PJ, Pless-Mulloli T. Association between respiratory prescribing, air pollution and deprivation, in primary health care. *J Public Health (Oxf)*. 2013;35(4):502–509. doi: 10.1093/pubmed/fdt107
8. Pascal M, Corso M, Chanel O, et al. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: results of the Aphekom project. *Sci Total Environ*. 2013;449:390–400. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.077
9. Khaniabadi YO, Daryanoosh M, Sicard P, et al. Chronic obstructive pulmonary diseases related to outdoor PM10, O3, SO2, and NO2

- in a heavily polluted megacity of Iran. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018;25(18):17726–17734. doi:10.1007/s11356-018-1902-9
10. Cromar K, Gladson L, Jaimes Palomera M, Perlmutter L. Development of a health-based index to identify the association between air pollution and health effects in Mexico city. *Atmosphere*. 2021;12(3):372. doi: 10.3390/atmos12030372
11. Andersen ZJ, Hvidberg M, Jensen SS, et al. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: a cohort study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2011;183(4):455–461. doi: 10.1164/rccm.201006-0937OC
12. Beloborodov SS, Vil'fand RM, Gagarin VG, et al. *Priorities of climate adaptation of the megalopolis: people, nature, technology. Algorithm, strategy and action plan*. Moscow, 2018. (In Russ).
13. Mosgorstat [Internet]. Unified data warehouse of the Information and analytical system for monitoring the integrated development of the city of Moscow [cited 2021 June 30]. Available from: <http://ehd.moscow/index.php>
14. Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitel' i blagopoluchiya cheloveka. Upravlenie Rospotrebnadzora po g. Moskve. About the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the city of Moscow in 2020. Moscow, 2021. 217 p.
15. Federal Law "On Environmental Protection" N 7-FZ of 01 October 2002. Available from: <https://rpn.gov.ru/documents/legal/federal/>. (In Russ).
16. uonvos.rpn.gov.ru [Internet]. Software and technical support for keeping records of negative impact on the environment objects of the Federal service for supervision in the field of environmental management. [cited 2021 July 01]. Available from: <https://uonvos.rpn.gov.ru/>
17. mednet.ru [Internet]. Morbidity of the population of Moscow. [cited 2021 24 June]. Available from: <http://mednet.ru/ru/statistika/zabolevaemost-naseleniya.html/>.
18. <https://mosstat.gks.ru/> [Internet]. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the city of Moscow / Population / Main indicators] Available from: [http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/moscow/ru/statistics/population/](http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/moscow/ru/statistics/population/) [cited 24.06.2021].
19. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation N 553 dated 23.12.2015 "On approval of the procedure for forming codes of objects that have a negative impact on the environment and assigning them to the corresponding objects". Available from: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-23122015-n-553/>
20. R 2.1.10.1920-04 R 2.1.10.1920-04 Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>
21. MR 5.1.0081-13 MR 5.1.0081-13 Determination of thresholds for mass non-communicable morbidity and their use in planning supervisory measures. Available from: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293772/4293772484.htm>
22. Borovkova AM, Kondrateva OE, Anisimov RA, Gasho EG. Development of indicators to assess the effectiveness of the implementation of the best available technologies in the energy. 3rd International youth conference on radio electronics, electrical and power engineering (REEPE). IEEE; 2021 Mar 11; doi: 10.1109/REEPE51337.2021.9388074
23. Semutnikova EG, Gasho EG, Loktionov OA. Energy-ecological modernization of the industrial complex of Moscow: linking energy saving and the introduction of the best available technologies. *Industrial power engineering*. 2021;(4):2–10. (In Russ). doi: 10.34831/EP.2021.55.34.001
24. Kondrateva OE, Roslyakov PV, Loktionov OA, et al. Developing the cost-estimation technique when switching to best available power technologies. *Thermal Engineering*. 2019;66(7):513–520. doi: 10.1134/S004060151907005X

## ОБ АВТОРАХ

**\*Локтионов Олег Александрович**, к.т.н., доцент;  
адрес: Россия, 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, стр. 1;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4669-8729>;  
eLibrary SPIN: 2883-3017;  
e-mail: LoktionovOA@mpei.ru

**Звонкова Наталья Владимировна**, старший преподаватель;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0213-8313>;  
eLibrary SPIN: 5430-8935;  
e-mail: ZvonkovaNV@mpei.ru

**Кондратьева Ольга Евгеньевна**, д.т.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5462-3612>;  
eLibrary SPIN: 9205-9338;  
e-mail: KondratyevaOYe@mpei.ru

## AUTHORS INFO

**\*Oleg A. Loktionov**, Cand. Sci (Tech.), assistant professor;  
address: 14/1 Krasnokazarmennaja street,  
111250, Moscow, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4669-8729>;  
eLibrary SPIN: 2883-3017; e-mail: LoktionovOA@mpei.ru

**Natal'ja V. Zvonkova**, senior lecturer;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0213-8313>;  
eLibrary SPIN: 5430-8935;  
e-mail: ZvonkovaNV@mpei.ru

**Olga E. Kondrateva**, Dr. Sci. (Tech.), assistant professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5462-3612>;  
eLibrary SPIN: 9205-9338;  
e-mail: KondratyevaOYe@mpei.ru

\*Автор, ответственный за публикацию / Corresponding author