



Бузинов Р.В.¹, Носков С.Н.^{1,2}, Еремин Г.Б.¹, Ковшов А.А.^{1,2}, Горный В.И.³,
Крицук С.Г.³, Латыпов И.Ш.³, Тронин А.А.³

Оценка влияния повышения температуры среды на показатели смертности городского населения методом спутникового картирования

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Россия;

³ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», 199178, Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В условиях глобального изменения климата рост смертности городского населения из-за повышения температуры среды при появлении «тепловых волн» становится актуальной проблемой.

Материалы и методы. Для анализа пространственного распределения рисков и ущербов от преждевременной смертности выбраны города, расположенные в нескольких климатических зонах России: Омск, Астрахань, Ростов-на-Дону, Липецк, Архангельск. Для спутникового картирования рисков и ущербов от преждевременных смертей, вызванных повышением температуры городских пространств, использованы материалы летних съёмок спутниками серии Landsat.

Результаты. Анализ всех спутниковых карт позволяет сделать вывод о неравномерном распределении рисков повышения температуры городской среды, потенциальных смертей и экономических ущербов в пределах территорий исследованных городов. Повышенные значения потенциальной смертности локализуются в местах, где высокая плотность населения совпадает с повышенным риском повышения температуры. Наибольшие значения ущербов отмечены в Ростове-на-Дону и Астрахани, наименьшие — в Архангельске.

Ограничения исследования. Анализ смертности проводили без учёта возрастно-половой структуры населения.

Заключение. Результаты применения методики спутникового картирования рисков и экономических ущербов от преждевременной смертности населения из-за повышения температуры городской среды показали точность, приемлемую для принятия управленческих решений по защите здоровья городского населения. Результаты спутникового картирования указанных событий могут применяться при разработке профилактических мер, ориентированных на снижение преждевременной смертности.

Ключевые слова: причинно-следственные связи; температура; смертность; спутниковое картирование; анализ ущерба

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Бузинов Р.В., Носков С.Н., Еремин Г.Б., Ковшов А.А., Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. Оценка влияния повышения температуры среды на показатели смертности городского населения методом спутникового картирования. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(8): 776–783. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-776-783> <https://elibrary.ru/ivprou>

Для корреспонденции: Носков Сергей Николаевич, канд. мед. наук, техн. директор органа инспекции, ст. науч. сотр. ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург. E-mail: sergeinoskov@mail.ru

Участие авторов: Бузинов Р.В. — концепция и дизайн исследования, сбор материалов; Носков С.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор материалов, написание текста, редактирование; Еремин Г.Б. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Ковшов А.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Горный В.И. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, анализ данных, написание текста, редактирование; Крицук С.Г. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, анализ данных, написание текста, редактирование; Латыпов И.Ш. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, анализ данных, написание текста, редактирование; Тронин А.А. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, анализ данных, написание текста, редактирование. Все соавторы — ответственность за целостность всех частей статьи и утверждение окончательного варианта статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 03.05.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликовано: 10.09.2024

Roman V. Buzinov¹, Sergey N. Noskov^{1,2}, Gennady B. Eremin¹, Aleksandr A. Kovshov^{1,2},
Viktor I. Gorny³, Sergey G. Kritsuk³, Iskander Sh. Latypov³, Andrey A. Tronin³

Assessing the impact of rising ambient temperatures on urban mortality rates using satellite mapping

¹North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation;

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St.-Petersburg, 191015, Russian Federation;

³Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, 199178, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In the context of the change in global climate, the gain in the mortality rate due to an elevation of the temperature in the urban environment with the appearance of “heat waves” becomes an urgent problem.

Materials and methods. To analyze the spatial distribution of risks and damages from premature mortality, there were selected cities located in several climatic zones of Russia including Omsk, Astrakhan, Rostov-on-Don, Lipetsk, Arkhangelsk. For satellite mapping of risks and damages from premature deaths caused by an elevation of the temperature in urban spaces, materials from summer surveys by Landsat series satellites were used.

Results. The analysis of all satellite maps allows concluding the risks of an increase in urban temperature, potential deaths, and economic damage within the territories of the studied cities to be unevenly distributed. Advanced values of potential mortality are localized in places where high population density coincides with an enhanced risk of the temperature rise. The highest damage values were noted in Rostov-on-Don and Astrakhan, the lowest — in Arkhangelsk.

Limitations. Mortality analysis was carried out without taking into account the age and sex structure of the population.

Conclusion. The results of applying the methodology for satellite mapping of risks and economic losses from premature mortality due to rising urban temperatures showed accuracy acceptable for making management decisions to protect the health of the urban population. The results of satellite mapping of these events can be used in the development of preventive measures aimed at reducing premature mortality.

Keywords: causal relationships; temperature; mortality; satellite mapping; damage analysis

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of a biomedical ethics committee opinion or other documents.

For citation: Buzinov R.V., Noskov S.N., Eremin G.B., Kovshov A.A., Gorny V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Tronin A.A. Assessing the impact of rising ambient temperatures on urban mortality rates using satellite mapping. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(8): 776–783. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-8-776-783> <https://elibrary.ru/ivpvy> (In Russ.)

For correspondence: Sergey N. Noskov, MD, PhD, Technical Director of the Inspection Body, senior researcher of the North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: sergeynoskov@mail.ru

Contribution: Buzinov R.V. — concept and design of the study, collection of materials; Noskov S.N. — concept and design of the study, collection of materials, writing the text of the article, editing; Eremin G.B. — concept and design of the study, editing the article; Kovshov A.A. — concept and design of the study, editing the article; Gorny V.I. — concept and design of the study, material processing, data analysis, text writing, article editing; Kritsuk S.G. — concept and design of the study, material processing, data analysis, text writing, article editing; Latypov I.Sh. — concept and design of the study, material processing, data analysis, text writing, article editing; Tronin A.A. — concept and design of the study, material processing, data analysis, text writing, article editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: May 3, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: September 10, 2024

Введение

В условиях глобального изменения климата [1] актуальной проблемой становится рост смертности из-за повышения температуры городской среды при появлении «тепловых волн» [2]. Причиной опережающего нагрева городской среды считается наличие «острова тепла» [3–5], формирующегося под действием высокого уровня антропогенной энергии, снижения охлаждающего влияния испарения с поверхности из-за малой площади зелёных зон и «запечатанности» почвы дорожным покрытием, интенсивного нагрева солнечной радиацией металлических крыш с низкой эффективной тепловой инерцией¹. Всё это приводит к повышению температуры городской среды относительно пригородных территорий.

В исследованиях определена температура воздуха, при которой наблюдается минимальная смертность. Повышение среднесуточной температуры воздуха относительно среднесуточной температуры минимальной смертности приводит к увеличению числа смертей [6–10]. Среднесуточная температура минимальной смертности определяется на основе статистически обеспеченных эпидемиологических наблюдений зависимости относительного риска смертности от среднесуточной температуры воздуха [7, 8, 11].

Жаркая погода оказывает более выраженное влияние на смертность при цереброваскулярной патологии, чем при ишемической болезни сердца [12]. Длительная жара является причиной увеличения числа смертей от болезней системы кровообращения, прежде всего в пожилом возрасте [13]. В исследовании [14] выявлена корреляция между ростом числа обращений за скорой медицинской помощью в связи с обострениями болезней системы кровообращения (нарушение ритма, артериальная гипертензия, сердечная недостаточность) и повышением температуры воздуха, причём подобная зависимость становится незначимой в пригородах крупных городов [15]. В то же время существуют данные, свидетельствующие об увеличении числа вызовов скорой помощи в связи с острыми церебральными гемодинамическими нарушениями не только в периоды экстремальной жары, но и в холодный период года [16].

Температура минимальной смертности меняется в зависимости от климата, и для жителей южных широт эта температура выше, чем для северян [17, 18]. Однако даже

в пределах одного города в разных районах среднесуточная температура и температура воздуха может отличаться на несколько градусов [19–23], что приводит к неравномерному уровню смертности от воздействия тепла в разных районах [20, 24].

Для решения междисциплинарных задач необходима детальная сопоставительная динамика процессов в природе и обществе, представленная в виде временных рядов больших ансамблей фактических данных, с последующим установлением причинно-следственных связей между внешними воздействиями на человека и заболеваемостью [25]. В частности, с целью принятия обоснованных управленческих решений, направленных на минимизацию угрозы здоровью населения от изменения температуры городской среды, необходимо детальное знание пространственного распределения потенциальных рисков преждевременных смертей, вызванных повышением температуры. Для этого целесообразно использовать архивные материалы многократных спутниковых съёмок, по результатам анализа которых картируют температуру подстилающей поверхности в момент съёмки. Строится карта среднесуточной температуры воздуха с использованием метода множественной корреляции среднесуточной температуры воздуха на метеостанции и в разных частях города с результатами спутниковой съёмки температуры поверхности, спутниковыми картами вегетационного индекса, высотами рельефа дневной поверхности, расстояниями от моря и т. п. [26–29]. В последние годы появились работы по построению карт количества смертей от воздействия тепла на определённую дату. Для этого использованы карты температур поверхности городской среды с пространственным разрешением 1×1 км, построенные по материалам съёмки спутниками Terra/Aqua (MODIS) и наземным измерениям ряда характеристик городской среды, статистическим данным о числе смертей городского населения, случившихся при различных температурах воздуха [26, 30]. Развитием этого подхода явилась методика спутникового картирования математического ожидания (потенциального) удельного ущерба экономике города от преждевременной смертности, вызванной воздействием тепла [24, 31].

Цель исследования — выявление закономерностей пространственного распределения рисков повышения температуры городской среды и экономических ущербов от преждевременной смертности населения, вызванной воздействием тепла.

¹ ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

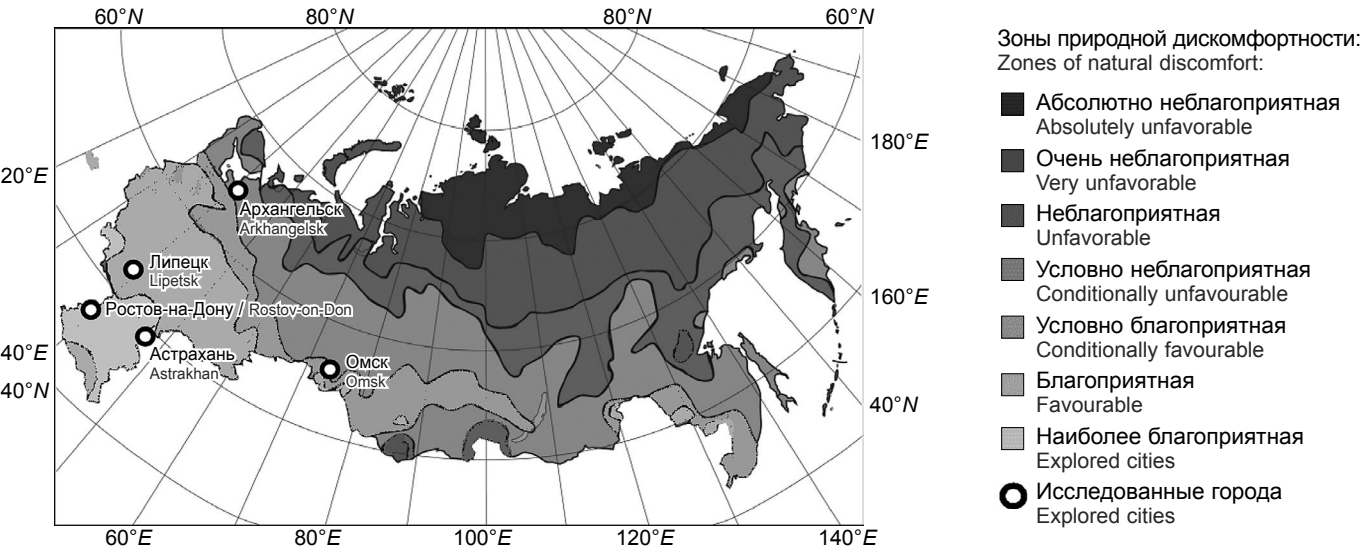


Рис. 1. Исследованные города России показаны на карте районирования территории России по условиям жизни населения. Эпоха: 2001–2010 гг. (Виноградова, 2021).

Fig. 1. The studied cities of Russia (shown on the map of the zoning of the territory of Russia according to the living conditions of the population. Epoch: 2001–2010 (Vinogradova, 2021)).

Материалы и методы

Для анализа пространственного распределения рисков и ущерба от преждевременной смертности, вызванной воздействием тепла, выбраны города, расположенные в нескольких климатических зонах России: Омск, Астрахань, Ростов-на-Дону, Липецк, Архангельск (рис. 1). В табл. 1 приведены характеристики городов, использованные при анализе.

Для спутникового картирования рисков и ущерба от преждевременных смертей, вызванных температурой, использованы материалы летних съёмок спутниками серии Landsat (табл. 2). При анализе результатов использованы карты функциональных зон, полученные на официальных городских сайтах. Для картирования риска от преждевременной смертности, вызванной повышением температуры городской среды, необходимо знание плотности населения городов. Авторами были использованы цифровые карты

Характеристики исследуемых городов
Characteristics of the cities under study

Населённый пункт Locality	Население, тыс. человек Population, thousands of people	Площадь города, км² City area, km²	Процент площади зелёных зон, % Percentage of the area of green areas, %	Средняя температура воздуха в июле, °С Average air temperature in July, °C	Экономический ущерб от одной смерти, тыс. рублей/смерть Economic damage from one death, thousands of rubles/death
Омск / Omsk	1126	578	22	19.6	1400
Астрахань / Astrakhan	468	209	12	26.1	1400
Ростов-на-Дону / Rostov-on-Don	1142	348	22	24.0	1300
Липецк / Lipetsk	490	330	45	20.0	1400
Архангельск / Arkhangelsk	298	294	46	16.5	1400

Материалы спутников и метеостанций, использованные при картировании
Satellites and weather stations materials used in mapping

Населённый пункт Locality	Спутник Satellite	Количество сцен Number of scenes	Эпоха, дд.мм.гггг Epoch, dd.mm.yyyy	Код метеостанции WMO The WMO code of the weather station
Омск / Omsk	Landsat 7	10	01.06.2013–25.08.2022	28 698
	Landsat 8	34		
Астрахань / Astrakhan	Landsat 7	14	17.07.2010–27.08.2022	34 880
	Landsat 8	24		
Ростов-на-Дону / Rostov-on-Don	Landsat 7	37	31.07.2000–30.08.2022	34 730
	Landsat 8	26		
Липецк / Lipetsk	Landsat 7	22	3.08.2010–31.08.2023	27 930
	Landsat 8	22		
Архангельск / Arkhangelsk	Landsat 7	38	25.06.2000–21.08.2022	22 550
	Landsat 8	17		

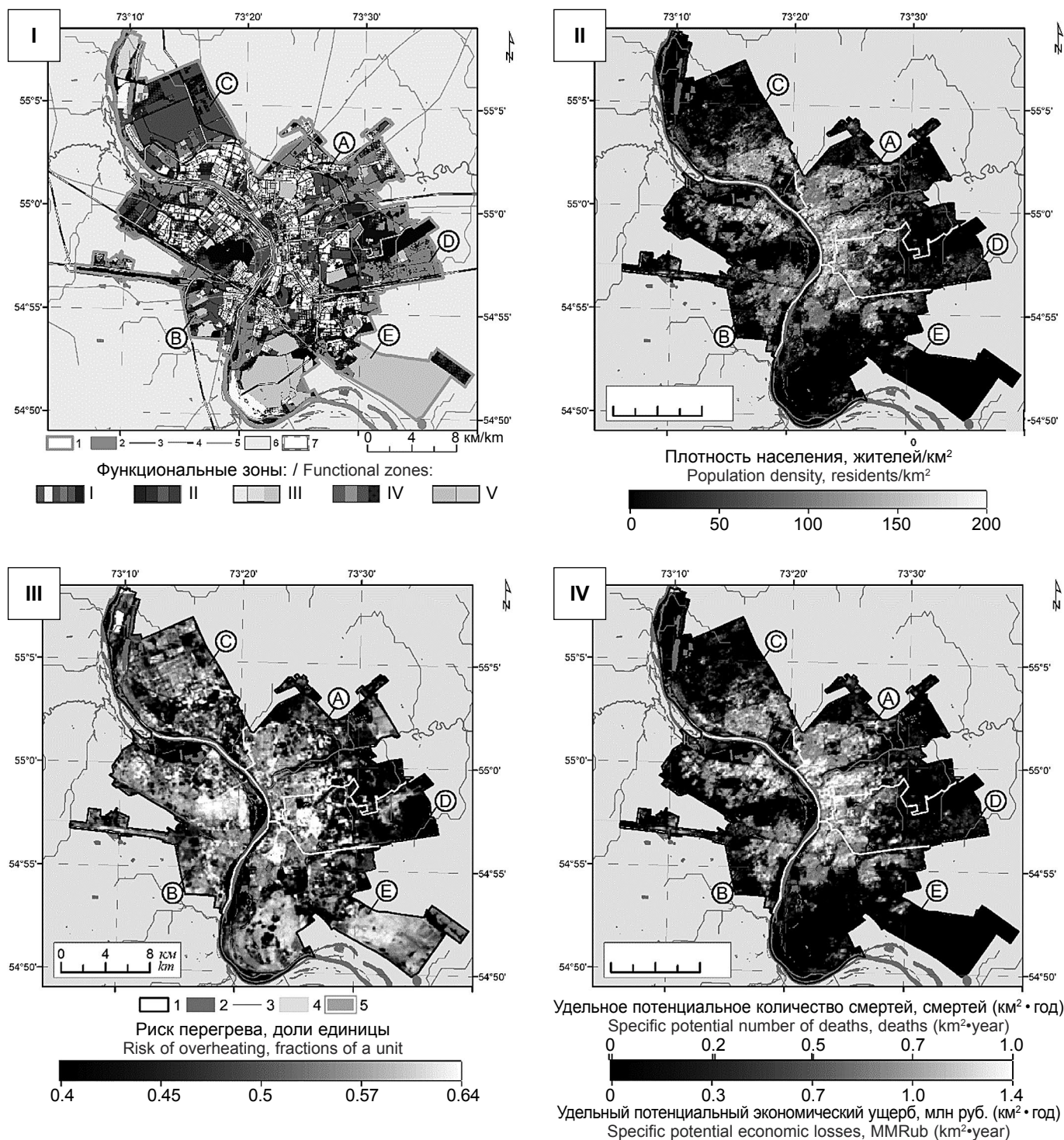


Рис. 2. Спутниковое картирование рисков и ущербов в Омске. Муниципальные районы: А – Центральный, В – Кировский, С – Советский, D – Октябрьский, E – Ленинский. Условные обозначения: 1 – Граница города. 2 – Акватории. 3 – Реки. 4 – Железные дороги. 5 – Автомобильные дороги. 6 – Пригороды. 7 – Границы муниципальных районов. (I) Схема функциональных зон: I – Застройки (жилые, малоэтажные, смешанные с общественно-деловой, общественно-деловые, многофункциональные, исторические. II – Зоны инженерной и транспортной инфраструктуры, производственные, инженерной инфраструктуры, транспортной инфраструктуры. III – Зоны сельскохозяйственные, садоводческие и огороднические. IV – Рекреационные, озеленённые общего пользования, лесов, озеленённые специальные, кладбища. V – Зоны складирования и захоронения отходов, режимные. (II) Цифровая карта плотности населения. (III) Цифровая карта риска повышения среднесуточной температуры воздуха над температурой минимальной смертности. (IV) Цифровая карта потенциального экономического ущерба от смертности населения, вызванного повышением среднесуточной температуры воздуха над температурой минимальной смертности.

Fig. 2. Satellite mapping of risks and damages in the city of Omsk. Municipal districts: A – Tsentralny. B. Kirovsky. C. Sovetsky. D. Oktyabrsky. E. Leninsky. Symbols: 1. The border of the city. 2. Water areas. 3. Rivers. 4. Railways. 5. Highways. 6. Suburbs. 7. Boundaries of municipal districts. (I) Scheme of functional zones: I. Buildings (residential, low-rise, mixed with public business, public business, multifunctional, historical. II. Zones of engineering and transport infrastructure, industrial, engineering infrastructure, transport infrastructure. III. Agricultural, horticultural and horticultural zones. IV. Recreational, landscaped for general use, forests, special landscaped, cemeteries. V. Waste storage and burial zones, regime. (II) Digital population density map. (III) A digital map of the risk of a gain in the average daily air temperature above the minimum mortality temperature. (IV) A digital map of the potential economic damage due to the population mortality rate caused by an increase in the average daily air temperature above the minimum mortality temperature.

Таблица 3 / Table 3

Анализ относительной ошибки спутникового картирования количества случаев смерти в Омске от повышения температуры городской среды
Analysis of the relative error of satellite mapping of the number of deaths in Omsk from an increase in the temperature of the urban environment

Районы города Омск Districts Omsk			Ежегодное количество смертей от теплового воздействия, смертей/год Annual number of deaths due to heat exposure, deaths/year		Относительная ошибка, % Relative error, %
Буквенное обозначение Letter designation	районы districts	численность населения population size	медицинская статистика medical statistics	спутниковое картирование satellite mapping	
A	Центральный / Central	245 578	17	20	+17
B	Кировский / Kirovsky	248 209	19	16	–15
C	Советский / Soviet	204 001	11	10	–9
D	Октябрьский / Oktyabrsky	271 440	14	8	–42
E	Ленинский / Leninsky	156 467	11	10	–9
Всего / Total		1 126 000	72	64	–11

плотности населения². Картирование рисков преждевременной смертности населения в связи с повышением температуры поверхности выполнено по методике, изложенной в работах [24, 31]. Основа этой методики – определение температуры минимальной смертности по анализу медицинской статистики и аппроксимация квадратичной зависимостью влияния среднесуточной температуры воздуха в городе на смертность населения. Удельное количество смертей и прямо пропорциональный этой величине экономический ущерб рассчитывали с учётом плотности населения [31] и экономических потерь, вызванных преждевременной смертью одного жителя [32]. Экономический ущерб рассчитан как произведение медианного значения стоимости одной жизни в исследуемых населённых пунктах и числа случаев дополнительных смертей, связанных с воздействием тепла [24, 31]. Данные о смертности населения в исследованных городах предоставлены Институтом народнохозяйственного прогнозирования РАН и Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Результаты

На рис. 2 приведён пример цифровых карт потенциальных рисков и потенциального удельного количества смертей в Омске, построенный по материалам съёмки спутниками серии Landsat³. Аналогичные комплекты цифровых карт выполнены для всех остальных исследованных городов. Оценку ошибок картирования количества смертей, вызванных изменением температуры городской среды, выполняли на примере Омска, так как для него получены данные медицинской статистики смертности населения не только по всему городу, но и отдельно по каждому муниципальному району. Методика спутникового картирования потенциального количества смертей использует среднегодовые данные медицинской статистики по всему городу. Далее на полученной цифровой карте (например, рис. 2, IV) в пределах площади каждого района рассчитывается количество потенциальных ежегодных смертей. Сравнение спутниковых карт по каждому из районов с данными медицинской статистики позволило оценить ошибки методики спутникового картирования (табл. 3). Полученные потенциальные количества ежегодных смертей в большинстве случаев оказались ниже, чем по данным медицинской статистики. Это может быть вызва-

но ошибками использованной карты плотности населения (см. рис. 2, II). Примечательно, что для таких районов Омска, как Советский, Кировский и Ленинский, относительные ошибки колебались в пределах 15%, что свидетельствует о весьма удовлетворительном результате. В районах с более высокой плотностью населения, таких как Центральный (А на рис. 2, II) и Октябрьский район (D на рис. 2, II), относительные ошибки возросли до +17% и –42% соответственно. Однако в основном относительные ошибки картирования смертности и экономических потерь остаются в пределах 20%-го порога. Такие уровни ошибки, как правило, приемлемы для экономических оценок, определяющих первоочередные участки города, которым целесообразно выделять городские бюджетные ассигнования для смягчения экономического ущерба, вызванного потеплением климата. Анализ всех спутниковых карт позволяет сделать вывод о неравномерном распределении рисков теплового воздействия, потенциальных смертей и экономических ущербов в пределах территорий исследованных городов. Повышенные значения потенциальной смертности локализуются в местах, где высокая плотность населения совпадает с риском повышения температуры городской среды. Эта закономерность ярко проявляется в урбанизированных зонах, таких как Центральный муниципальный район Омска и центральная часть Ростова-на-Дону (Ленинский и Кировский районы). Напротив, на территориях, характеризующихся высоким риском теплового воздействия, но низкой плотностью населения, согласно разработанному алгоритму, наблюдается минимальная смертность в пересчёте на плотность населения. В Ленинском муниципальном районе Омска (Е на рис. 2) в пределах зон складирования и захоронения отходов и режимных зон (зона V на рис. 2, I), где отсутствует постоянное население, смертность ожидаемо отсутствует. Впрочем, для более точного картирования смертности необходим и учёт жителей, присутствующих на рабочих местах с отличными от места жительства температурными условиями. Поэтому для совершенствования этой технологии может потребоваться учёт моделей ежедневной миграции населения. В табл. 4 представлены сравнительные данные исследованных городов.

Анализ таблицы вместе с цифровыми картами ущербов показывает, что потенциальный риск теплового воздействия и ущербы от преждевременной смертности вследствие изменения температуры меняются в зависимости от природных условий в населённых пунктах. Наибольшие значения ущербов отмечены в Ростове-на-Дону и Астрахани, расположенных в наиболее благоприятной для проживания населенной зоне (7 на рис. 1), наименьшие – в Архангельске, расположенном в неблагоприятной для проживания зоне (4 на рис. 1).

² GHSL – Global Human Settlement Layer. <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/download.php>
³ Landsat 7 (L7) Data Users Handbook. Version 2.0. Sioux Falls, South Dakota; 2019.

Таблица 4 / Table 4

Характеристики преждевременной ежегодной смертности населения городов от теплового воздействия
Characteristics of premature annual mortality of urban population from heat exposure

Населённый пункт Locality	Численность населения, <i>n</i> Population size	Количество смертей, смерти/год Number of deaths, deaths/year	Потенциальное количество преждевременных смертей A potential amount premature deaths	Потенциальная преждевременная смертность от теплового воздействия, ‰ Potentially premature mortality from heat exposure, ‰	Потенциальный экономический ущерб, млн руб./год Potential economic damage, Millions rubles/year
	статистика / statistics		спутник / satellite		
Омск / Omsk	1 125 695	1280	63	0.06	88
Астрахань / Astrakhan	475 629	1130	173	0.36	241
Ростов-на-Дону / Rostov-on-Don	1 142 162	978	195	0.17	252
Липецк / Lipetsk	496 403	1213	57	0.12	76
Архангельск / Arkhangelsk	349 742	1106	43	0.12	60

Обсуждение

Если рассматривать потенциальную смертность на 1000 жителей, то абсолютным лидером является Астрахань (0,36‰), а среди муниципальных районов – Советский район Астрахани (0,41‰). При этом доля территории Астрахани, которую занимают зелёные зоны, составляет всего 12%, что примерно в два раза меньше, чем в Ростове-на-Дону, и в 3,7 раза меньше, чем в Липецке. Следовательно, в Астрахани в первую очередь целесообразно разработать и реализовать план снижения риска теплового воздействия путём озеленения, осветления городской среды, установки фонтанов, создания искусственных водоёмов. По экономическому ущербу от преждевременной смертности самые высокие показатели зарегистрированы в Ростове-на-Дону (≈ 252 млн рублей в год). Это в три раза выше, чем в равном по численности населения Омске (88 млн руб/год).

Можно предположить, что полученные в результате спутникового картирования данные о потенциальных рисках преждевременной смертности, вызванной повышенной температурой на городских территориях, могут быть использованы в управленческих решениях, направленных на сохранение здоровья населения. На основе этих результатов могут быть обоснованы планы по снижению риска теплового воздействия городской среды в районах с наибольшей смертностью. Во многих случаях достаточно будет внедрить систему озеленения, осветления городской среды в проекты плановых ремонтов дорожного покрытия, замену крыш домов, у которых закончился амортизационный срок, на так называемые «холодные» крыши [33, 34].

Заключение

Результаты применения методики спутникового картирования рисков и экономических ущербов от преждевременной смертности населения, вызванных повышением температуры городской среды, показали точность, приемлемую для принятия управленческих решений в условиях потепления климата (повышения температуры воздуха на территории городов). Установлено, что распределение потенциальных рисков в городах неравномерно. Более высокие показатели риска преждевременной смертности (с учётом плотности населения) сконцентрированы в густонаселённых урбанизированных зонах с минимальным количеством зелёных насаждений, в то время как малонаселённые районы, промышленные и рекреационные зоны характеризуются минимальными значениями.

Направление сил и средств для предотвращения ущерба на участки с высокой плотностью населения представляется оправданной стратегией противодействия угрозам общественному здоровью, возникающим из-за потепления климата. Результаты спутникового картирования рисков теплового воздействия и ущербов от преждевременной смертности при принятии решений для снижения угроз здоровью населения могут применяться по двум направлениям:

- в рамках архитектурно-планировочных решений, направленных на защиту от повышения температуры городской среды: стратегическое планирование района, применение стройматериалов, повышающих альбедо, городское озеленение, затенение, снижение инсоляции и т. д.
- при разработке профилактических мер, ориентированных на снижение преждевременной смертности: развитие системы здравоохранения и просвещение населения.

Литература

(п.п. 1–5, 7, 8, 11–14, 17, 21–24, 26–30, 33 см. References)

6. Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. Прогноз температуры поверхности городской среды Санкт-Петербурга на основе спутникового картирования теплофизических свойств. В кн.: *Всероссийская научная конференция с международным участием «Земля и космос» к столетию академика РАН К.Я. Кондратьева*. СПб.: 2020; 14–21. <https://elibrary.ru/ioinmu>

9. Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Константинов П.И., Ревич Б.А. Температура воздуха и смертность: исследование пороговых значений жары и чувствительности населения на примере г. Ростов-на-Дону. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2019; (2): 66–94. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2019-2-66-94> <https://elibrary.ru/thpdnh>

10. Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н. Современные и ожидаемые изменения роли климатического фактора в оценке природных условий жизни населения в Российской Федерации. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2014; (4): 16–21. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-4-16-21> <https://elibrary.ru/sjjalh>

15. Гамбурцев А.Г., Степанова С.И., Гамбурцева Н.Г. Сопоставительный анализ динамических особенностей числа вызовов скорой помощи в Москве и Израиле. *Пространство и время*. 2018; (1-2): 302–10. <https://doi.org/10.24411/2226-7271-2018-11102> <https://elibrary.ru/ytguyh>

16. Черешнев В.А., Гамбурцев А.Г., Сигачев А.В., Гамбурцева Н.Г. Динамика вызовов скорой помощи в 10 округах Москвы. *Пространство и время*. 2015; (4): 267–77. <https://elibrary.ru/vvrbdz>

18. Ревич Б.А., Григорьева Е.А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Часть 1. Волны жары и холода. *Проблемы анализа риска*. 2021; 18(2): 12–33. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33> <https://elibrary.ru/kaetme>

19. Крицук С.Г., Горный В.И., Латыпов И.Ш., Павловский А.А., Тронин А.А. Спутниковое картирование риска перегрева поверхности городской среды (на примере Санкт-Петербурга). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019; 16(5): 34–44. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-34-44> <https://elibrary.ru/pyomdj>

20. Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Манвелова А.Б., Тронин А.А. Спутниковое картирование риска перегрева городского воздуха (на примере г. Хельсинки, Финляндия). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022; 19(3): 23–34. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-23-34> <https://elibrary.ru/inhnyq>
25. Черешнев В.А., Гамбургев А.Г. Экология, мониторинг и здоровье людей. *Вестник Российской академии наук*. 2017; 87(2): 121–9. <https://doi.org/10.7868/S0869587317020037> <https://elibrary.ru/yivycz>
31. Горный В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. Спутниковое картирование экономического ущерба от смертей городского населения, вызванных перегревом (на примере г. Хельсинки, Финляндия). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022; 19(3): 35–46. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-35-46>
32. Зубец А.Н., Новиков А.В. Численная оценка стоимости жизни человека в России и в мире. *Финансы: теория и практика*. 2018; 22(4): 52–75. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2018-22-4-52-75> <https://elibrary.ru/xwqgct>
34. Варенцов М.И., Грищенко М.Ю., Константинов П.И. Сопоставление наземных и космических разномасштабных температурных данных на примере городов Российской Арктики для зимних условий. *Исследование Земли из космоса*. 2021; (2): 64–76. <https://doi.org/10.31857/S0205961421020093> <https://elibrary.ru/jogrsr>

References

1. Allen M.R., Dube O.P., Solecki W., Aragón-Durand F., Cramer W., Humphreys S., et al. *Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva; 2018.
2. Koppe Ch., Kovats S., Menne B., Jendritzky G. *Heat-waves: risks and responses*. Copenhagen; 2004.
3. Oke T.R., Johnson G.T., Steyn D.G., Watson I.D. Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary Layer Meteorol.* 1991; (56): 339–58. <https://doi.org/10.1007/BF00119211>
4. Zeng Y., Huang W., Zhan F., Zhang H., Liu H. Study on the Urban Heat Island Effects and Its Relationship with Surface Biophysical Characteristics Using MODIS Imagery. *Geo Spat. Inf. Sci.* 2010; 13(1): 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11806-010-0204-2>
5. Zhou D., Xiao J., Bonafoni S., Berger Ch., Deilami K., Zhou Yu., et al. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. *Remote Sens.* 2019; 11(1): 48. <https://doi.org/10.3390/rs11010048>
6. Gornyi V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Tronin A.A. Forecast of the surface temperature of the urban environment of St. Petersburg, based on satellite mapping of thermophysical properties. In: *All-Russian Scientific Conference with International Participation «Earth and Space» Dedicated to the Centenary of Academician of the Russian Academy of Sciences K.Ya. Kondratieva / Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem «Zemlya i kosmos» k stoletiyu akademika RAN K.Ya. Kondrat'eva*. St. Petersburg; 2020: 14–21. <https://elibrary.ru/oinmu> (in Russian)
7. Ruuhela R., Jylha K., Lanki T., Tiittanen P., Matzarakis A. Biometeorological assessment of mortality related to extreme temperatures in Helsinki region, Finland 1972–2014. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2017; (14): 944. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080944>
8. Ruuhela R., Votsis A., Kukkonen J., Jylha K., Kankaanpää S., Perrels A. Temperature-related mortality in Helsinki compared to its surrounding region over two decades, with special emphasis on intensive heatwaves. *Atmosphere.* 2021; (12): 46. <https://doi.org/10.3390/atmos12010046>
9. Shartova N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I., Revich B.A. Air temperature and mortality: heat thresholds and population vulnerability study in Rostov-on-Don. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya.* 2019; (2): 66–94. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2019-2-66-94> <https://elibrary.ru/thpdnh> (in Russian)
10. Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N. Current and future role of climatic factor in the estimation of natural conditions of life in Russia. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya.* 2014; (4): 16–21. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2014-4-16-21> <https://elibrary.ru/sjjalh> (in Russian)
11. Chittaranjan A. Understanding relative risk, odds ratio, and related terms: as simple as it can get. *J. Clin. Psychiatry.* 2015; 76(7): e857–61. <https://doi.org/10.4088/JCP.15f10150>
12. Guo Y., Gasparrini A., Li S., Sera F., Vicedo-Cabrera A.M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M., et al. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. *PLoS Med.* 2018; 15(7): e1002629. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>
13. Urban A., Davidkova H., Kysely J. Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic. *Int. J. Biometeorol.* 2014; 58(6): 1057–68. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0693-4>
14. Cowperthwaite M.C., Burnett M.G. The association between weather and spontaneous subarachnoid hemorrhage: an analysis of 155 US hospitals. *Neurosurgery.* 2011; (1): 132–8. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181fe23a1>
15. Gamburtsev A.G., Stepanova S.I., Gamburtseva N.G. Comparative analysis for quantity dynamic characteristics of the ambulance calls in Moscow and Israel. *Prostranstvo i vremya.* 2018; (1-2): 302–10. <https://doi.org/10.24411/2226-7271-2018-11102> <https://elibrary.ru/ytguyh> (in Russian)
16. Chereshev V.A., Gamburtsev A.G., Sigachev A.V., Gamburtseva N.G. Dynamics of ambulance calls in 10 districts of Moscow city. *Prostranstvo i vremya.* 2015; (4): 267–77. <https://elibrary.ru/vwrbdz> (in Russian)
17. Salam A., Kamran S., Bibi R., Korashy H.M., Parray A., Mannai A.A., et al. Meteorological factors and seasonal stroke rates: a four-year comprehensive study. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* 2019; 28(8): 2324–31. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.05.032>
18. Revich B.A., Grigorieva E.A. Health risks to the Russian population from weather extremes in the beginning of the XXI century. Part 1. Heat and cold waves. *Problemy analiza riska.* 2021; 18(2): 12–33. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33> <https://elibrary.ru/kaetme> (in Russian)
19. Kritsuk S.G., Gornyi V.I., Latypov I.Sh., Pavlovskii A.A., Tronin A.A. Satellite risk mapping of urban surface overheating (by the example of saint petersburg). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2019; 16(5): 34–44. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-5-34-44> <https://elibrary.ru/pyomdj> (in Russian)
20. Gornyi V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Manvelova A.B., Tronin A.A. Satellite risk mapping of urban air overheating (by the example of Helsinki, Finland). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2022; 19(3): 23–34. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-23-34> <https://elibrary.ru/inhnyq> (in Russian)
21. Chapman L., Thornes J.E., Bradley A.V. Modeling of road surface temperature from a geographical parameter database. Part 1: Statistical. *Meteorol. Appl.* 2001; 8(4): 409–19. <https://doi.org/10.1017/S1350482701004030>
22. Huang B., Wang J. Big spatial data for urban and environmental sustainability. *Geo Spat. Inf. Sci.* 2020; 23(2): 125–40. <https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1754138>
23. Xu S., Zhao Q., Yin K., He G., Zhang Zh., Wang G., et al. Spatial downscaling of land surface temperature based on a multi-factor geographically weighted machine learning model. *Remote Sens.* 2021; 13(6): 1186. <https://doi.org/10.3390/rs13061186>
24. Gornyi V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Manvelova A.B., Tronin A.A. Satellite mapping of urban air overheating risk (case study of Helsinki, Finland). *Cosmic Res.* 2022; (60): 38–45. <https://doi.org/10.1134/S0010952522700058>
25. Chereshev V.A., Gamburtsev A.G. Variable polyrhythmicity of processes in nature and society. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk.* 2017; 87(2): 121–9. <https://doi.org/10.7868/S0869587317020037> <https://elibrary.ru/raucpl> (in Russian)
26. Srivani M., Hokao K. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: an application for the city of Bangkok, Thailand. *J. Archit. Plan. Res. Stud.* 2012; (9): 83–100.
27. Ho H.C., Knudby A., Huang W. Spatial framework to map heat health risks at multiple scales. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2015; 12: 16110–23. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215046>
28. Ho H.C., Knudby A., Xu Y., Hodul M., Aminipouri M. A comparison of urban heat islands mapped using skin temperature, air temperature, and apparent temperature (Humidex), for the greater Vancouver area. *Sci. Total Environ.* 2016; (544): 929–38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.021>
29. Ho H.C., Knudby A., Walker B.B., Henderson S.B. Delineation of spatial variability in the temperature–mortality relationship on extremely hot days in greater Vancouver, Canada. *Environ. Health Perspect.* 2017; 125(1): 66–75. <https://doi.org/10.1289/EHP224>
30. Smargiassi A., Goldberg M.S., Plante C., Fournier M., Baudouin Y., Kosatsky T. Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *J. Epidemiol. Commun. Health.* 2009; (63): 659–64. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.078147>
31. Gornyi V.I., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Tronin A.A. Satellite Mapping of Economic Damage from Urban Deaths Caused by Overheating (by Example of Helsinki, Finland). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2022; 19(3): 35–46. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-35-46> (in Russian)
32. Zubets A.N., Novikov A.V. Quantitative assessment of the value of human life in Russia and in the world. *Finansy: teoriya i praktika.* 2018; 22(4): 52–75. <https://doi.org/10.26794/2587-5671-2018-22-4-52-75> <https://elibrary.ru/xwqgct> (in Russian)
33. Dominguez-Delgado A., Domínguez-Torres H., Domínguez-Torres C.A. Energy and economic life cycle assessment of cool roofs applied to the refurbishment of social housing in southern Spain. *Sustainability.* 2020; 12(14): 5602. <https://doi.org/10.3390/su12145602>
34. Varentsov M.I., Grishchenko M.Yu., Konstantinov P.I. Comparison between in situ and satellite multiscale temperature data for Russian arctic cities for winter season. *Issledovanie Zemli iz kosmosa.* 2021; (2): 64–76. <https://doi.org/10.31857/S0205961421020093> <https://elibrary.ru/jogrsr> (in Russian)

Сведения об авторах

Бузинов Роман Вячеславович, доктор мед. наук, директор ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: r.buzinov@s-znc.ru
Носков Сергей Николаевич, канд. мед. наук, техн. директор органа инспекции, ст. науч. сотр. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия; доцент каф. коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова», 191015, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sergeinoskov@mail.ru

Еремин Геннадий Борисович, канд. мед. наук, руководитель отд. анализа рисков здоровью населения ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: yeremin45@yandex.ru

Ковшов Александр Александрович, канд. мед. наук, зав. отд. гигиены труда, ст. науч. сотр. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия; доцент каф. гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова», 191015, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.kovshov@s-znc.ru

Горный Виктор Иванович, канд. геол.-минерал. наук, зав. лаб. дистанционных методов геоэкологического мониторинга и геоинформатики ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», 191178, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: v.i.gornyy@mail.ru

Крицук Сергей Георгиевич, ст. науч. сотр. лаб. дистанционного геоэкологического мониторинга и геоинформатики ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», 191178, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sit.bloom@gmail.com

Латыпов Искандер Шамильевич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаб. дистанционного геоэкологического мониторинга и геоинформатики ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», 191178, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: liscander@mail.ru

Тронин Андрей Аркадьевич, доктор геол.-минерал. наук, директор Санкт-Петербургского НИЦ экологической безопасности РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», 191178, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tronin.a@spcras.ru

Information about the authors

Roman V. Buzinov, MD, PhD, Director of the North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8624-6452> E-mail: r.buzinov@s-znc.ru

Sergey N. Noskov, MD, PhD, Technical Director of the Inspection Body, senior researcher of the North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Communal Hygiene of the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St.-Petersburg, 191015, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7971-4062> E-mail: sergeinoskov@mail.ru

Gennady B. Eremin, MD, PhD, head of the Department of Population Health Risk Analysis of the North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435> E-mail: yeremin45@yandex.ru

Aleksandr A. Kovshov, MD, PhD, head of the Occupational Hygiene Dept., senior researcher, North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation; Associate Professor, Department of Hygiene of Educational, Training, Labour Conditions, and Radiation Hygiene, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St.-Petersburg, 191015, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9453-8431> E-mail: a.kovshov@s-znc.ru

Viktor I. Gornyy, MD, PhD, head of the Laboratory of Remote Sensing Methods of Geoecological Monitoring and Geoinformatics, Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, 191178, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9706-6919> E-mail: v.i.gornyy@mail.ru

Sergey G. Kritsuk, senior researcher, North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation; researcher, Laboratory of remote geoecological monitoring and geoinformatics, Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, 191178, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3781-322X> E-mail: sit.bloom@gmail.com

Iskander Sh. Latypov, MD, PhD, senior researcher, Laboratory of remote geoecological monitoring and geoinformatics, Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, 191178, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8653-7308> E-mail: liscander@mail.ru

Andrey A. Tronin, MD, PhD, DSci., Director of the St. Petersburg Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences — a separate structural subdivision of the Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, 191178, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7852-8396> E-mail: tronin.a@spcras.ru