

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

Читать онлайн

Read online

Ефимова Н.В.¹, Гржибовский А.М.^{2,3}, Рукавишников В.С.¹, Мыльникова И.В.¹,
Кригер Е.А.⁴

Влияние факторов среды обитания на сверхсмертность населения промышленных центров в период COVID-19

¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия;

²ЧУ «ОО ВО Университет "Реавиз"», 198095, Санкт-Петербург, Россия;

³ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», 677007, Якутск, Россия;

⁴ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России, 163061, Архангельск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Показатель смертности населения является важнейшим медико-демографическим индикатором и рассматривается как результат многофакторного влияния среды обитания.

Цель исследования – оценить влияние риск-модифицирующих факторов внешней среды на сверхсмертность взрослого населения промышленных центров в условиях первого года пандемии COVID-19.

Материалы и методы. Исследования проведены в Ангарске, Братске, Иркутске – промышленных центрах Восточной Сибири. Для оценки сверхсмертности использованы посுточные данные о смертности от всех причин в течение первого года пандемии COVID-19 (2020) и десяти предшествующих лет. Применены аддитивные модели экспоненциального скользящего оценивания и автогрессионные проинтегрированные модели скользящего среднего. Оценка информативности факторов (I) дана по мере Кульбака.

Результаты. В первый год пандемии для всех причин сверхсмертности (включая новую коронавирусную инфекцию) величина информативности факторов среды ниже, чем для причин, не связанных с COVID-19 ($I = 0,11-0,23$ против $I = 0,26-0,61$). Для формирования сверхсмертности от причин, не связанных с COVID-19, в период пандемии более значимы следующие факторы: накопленные хронические болезни в старшей возрастной группе, ингаляционное воздействие веществ с рефлекторным действием, показатели обеспеченности ресурсами здравоохранения.

Ограничения исследования обусловлены тем, что анализ сверхсмертности населения проводён на примере первого года пандемии в промышленных центрах Восточной Сибири. На полученных результатах может отразиться сложность выбора первопричины смерти, связанная с COVID-19, что влияет на структуру смертности.

Заключение. Смертность населения отражает сложный многовариантный комплекс изменяющихся экзо- и эндогенных факторов, поэтому для её снижения необходимо найти пути оптимизации, базирующиеся на системном анализе зависимостей с учётом междисциплинарных знаний и применением комплекса математико-статистических методов. Значимость факторов среды обитания в период пандемии различна для всех причин сверхсмертности и для причин, не связанных с коронавирусной инфекцией.

Ключевые слова: сверхсмертность; COVID-19; факторы среды обитания; математические модели; информативность

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

Для цитирования: Ефимова Н.В., Гржибовский А.М., Рукавишников В.С., Мыльникова И.В., Кригер Е.А. Влияние факторов среды обитания на сверхсмертность населения промышленных центров в период COVID-19. Гигиена и санитария. 2025; 104(9): 1090–1096. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1090-1096> <https://elibrary.ru/prptmu>

Для корреспонденции: Ефимова Наталья Васильевна, e-mail: med_eco_lab@list.ru

Участие авторов: Ефимова Н.В. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание текста, редактирование; Гржибовский А.М. – дизайн исследования, математическое моделирование, написание текста; Рукавишников В.С. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Мыльникова И.В. – обзор литературы, сбор и обработка материала, написание текста; Кригер Е.А. – обработка материала, математическое моделирование, написание текста.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 22.05.2025 / Принята к печати: 26.06.2025 / Опубликована: 20.10.2025

Natalya V. Efimova¹, Andrej M. Grzhibovsky^{2,3}, Victor S. Rukavishnikov¹, Inna V. Mylnikova¹,
Ekaterina A. Kriger⁴

The impact of environmental factors on excess mortality in industrial centers during the period of COVID-19

¹East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation;

²Private University "REAVIZ", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation;

³North-Eastern Federal University, Yakutsk, 677007, Russian Federation;

⁴Northern State Medical University, Arkhangelsk, 163061, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The mortality rate in the population is the most important medical and demographic indicator considered as a result of the multifactorial influence of the living environment.

The aim of the study. To assess the influence of risk-modifying environmental factors on excess mortality in the adult population of industrial centers over the first year of the COVID-19 pandemic.

Materials and methods. The studies were conducted in the industrial centers of Eastern Siberia. To estimate excess mortality, daily data on mortality from all causes during the first year of the pandemic and the ten previous years were used. Adaptive exponential smoothing models and autoregressive integrated moving average models were used. The information content of factors (I) is assessed using the Kullback measure.

Results. During the first year of the pandemic, the informativeness of environmental factors for all causes of excess mortality is lower than for causes unrelated to COVID-19 ($I = 0,11-0,23$, versus $I = 0,26-0,61$). For excess mortality unrelated to COVID-19, the following factors are more significant: "accumulated" chronic diseases, inhalation exposure to irritants, and availability of healthcare resources.

Limitations. The analysis of excess mortality of the population was carried out using the example of the first year of the pandemic in one region.

Conclusion. Excess mortality can be reduced based on a systemic analysis of dependencies using a set of mathematical and statistical methods. The significance of environmental factors during the pandemic is different for all causes of excess mortality and for causes unrelated to coronavirus infection.

Keywords: excess mortality; COVID-19; factors of life environmental; mathematical models; information content

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

For citation: Efimova N.V., Grjibovski A.M., Rukavishnikov V.S., Mylnikova I.V., Kriger E.A. The impact of environmental factors on excess mortality in industrial centers during the period of COVID-19. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(9): 1090–1096. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1090-1096> <https://elibrary.ru/enpmzu> (In Russ.)

For correspondence: Natalia V. Efimova, e-mail: med_eco_lab@list.ru

Contribution: Efimova N.V. – the concept and design of the study, processing of material, writing text, editing; Grjibovsky A.M. – the concept and design of the study, mathematical modelling, writing text, editing; Rukavishnikov V.S. – study concept and design, editing; Mylnikova I.V. – collection and processing of material, statistical processing, writing text; Kriger E.A. – statistical analysis, mathematical modelling. 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.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: May 22, 2025 / Accepted: June 26, 2025 / Published: October 20, 2025

Введение

Показатель общей смертности населения является важнейшим медико-демографическим индикатором состояния социально-экологической системы, он рассматривается как результат многофакторного влияния [1–4]. К числу основных модифицирующих причин относят параметры среды обитания [5–7] и социально-экономические условия [8–10]. Так, в ряде работ убедительно показана связь смертности населения с воздействием комплекса химических поллютантов и в первую очередь с содержанием в атмосферном воздухе твёрдых частиц [10–13]. Доказано влияние социально-экономических факторов на здоровье населения, проживающего в условиях с разной степенью урбанизации [4, 14]. Ресурсное обеспечение системы здравоохранения во многом определяет территориальные особенности смертности населения как в России, так и в других странах [4, 15]. Бессспорно, уровень смертности населения напрямую зависит от возрастных характеристик популяции. В настоящее время старение населения и связанные с этим демографические, социально-экономические явления определяют пристальный интерес к данной проблеме.

Изучение смертности во время крупномасштабных событий, в частности в период пандемии COVID-19, позволило получить необходимую информацию для выработки мер, направленных на минимизацию негативных эффектов, и апробировать методические подходы к выявлению избыточной смертности в кризисных ситуациях [16–18]. Глобальные оценки показали, что избыточные величины смертности превысили 150 случаев на 100 000 населения в течение как минимум одного года пандемии в 80 странах и территориях, вместе с тем в 20 странах наблюдался отрицательный показатель избыточной смертности в 2020 или в 2021 г. [4]. По данным Единой медицинской информационно-аналитической системы (РФС-ЕМИАС) выявлены изменения показателей смертности, которые стали социальным откликом на пандемию COVID-19 в мегаполисе [19]. По официальным данным Росстата дана оценка сдвигов возрастного профиля смертности населения Москвы в период пандемии COVID-19 [20]. В некоторых исследованиях выявлены различия изменений уровня смертности от отдельных причин в период пандемии [14, 21, 22]. Так, Sheppard N. с соавт. обнаружили убедительные доказательства того, что экспозиция $PM_{2.5}$ увеличивает риск заражения COVID-19 и тяжесть течения болезни, но доказательства увеличения риска смертности авторы сочли менее выраженным [22].

Территория Иркутской области характеризуется высокой степенью урбанизации, длительным химическим загрязнением объектов среды обитания, сложными климатогеографическими условиями [21, 23]. При этом на протяжении многих лет в области регистрируется высокий уровень смертности населения [1], что определило выбор объекта и цели исследования.

Цель – оценить влияние риск-модифицирующих факторов внешней среды на сверхсмертность взрослого населения промышленных центров в условиях первого года пандемии COVID-19.

Материалы и методы

Исследования проведены в Ангарске, Братске, Иркутске – промышленных центрах Восточной Сибири, взрослое население которых (старше 18 лет) на 01.01.2020 г. составило 141 461, 176 879 и 535 080 человек соответственно.

Для оценки сверхсмертности использованы агрегированные посуточные данные о смертности от всех причин в течение первого года пандемии COVID-19 (2020 г.) и десяти лет, предшествовавших началу пандемии. Для каждого из изучаемых городов были сформированы временные ряды данных о смертности за десять лет, предшествовавших пандемии COVID-19, сгруппированные по месяцам каждого года с разбивкой по полу и возрастным группам (18–44 года, 45–59 лет, 60 лет и старше). Для устранения нерегулярных компонентов ряда (шумов) величины, отклоняющиеся от среднего значения ряда более чем на два стандартных отклонения (выбросы, outliers), заменяли значением, соответствующим среднему \pm два стандартных отклонения. Для расчёта ожидаемого уровня смертности в 2020 г., который наблюдался бы при отсутствии пандемии, использовали аддитивные модели экспоненциального слаживания и авторегрессионные проинтегрированные модели скользящего среднего (АРПСС/АРИМА), позволяющие учитывать тренд, сезонность и цикличность ряда. Данные модели подробно описаны в публикации, посвящённой методам оценки избыточной смертности в период пандемии COVID-19 [18].

Прогнозирование проводили с помощью процедуры «Эксперт построения моделей» временных рядов, доступной в рамках функционала пакета статистических программ SPSS v.23 (IBM). Каждый временной ряд использовали в качестве зависимой переменной для построения прогностической модели. Процедура «Эксперт построения моделей» автоматически подбирала наилучшую прогностическую модель с учётом имеющихся во временном ряду тренда, цикличности, сезонности. С использованием прогностических моделей, построенных с учётом особенностей каждого временного ряда, рассчитывали ожидаемые значения смертности от всех причин в каждом месяце 2020 г. с указанием 95%-х доверительных интервалов.

Показатель избыточной смертности рассчитывали как разность между фактическим числом умерших за каждый месяц 2020 г. и ожидаемым числом умерших, предсказанным (средним) на основании анализа временных рядов с использованием статистических данных смертности от всех причин за десять лет, предшествовавших пандемии COVID-19. Избыточная смертность в течение первого года пандемии представляет собой кумулятивное число избыточ-

Таблица 1 / Table 1

Избыточная смертность взрослого населения городов в 2020 г.

Excess mortality in the adult population in cities over 2020

Город City	Число дополнительных случаев смерти Number of additional deaths		Избыточная смертность на 1000 взрослого населения Excess mortality per 1000 adult population	Доля смертей от причин, не связанных с COVID-19, % The proportion of deaths from causes unrelated to COVID-19, %	
	от причин, не связанных с COVID-19 from causes unrelated to COVID-19	всего total		среднее mean	95% доверительный интервал среднего 95% confidence interval of the mean
Ангарск / Angarsk	419	669	4.73	62.6	58.9–66.3
Братск / Bratsk	332	561	3.17	59.2	55.1–63.2
Иркутск / Irkutsk	895	1715	3.21	52.2	49.8–54.6

ных смертей с 1 апреля (когда были зарегистрированы первые случаи COVID-19 в области) по 31 декабря 2020 г.

Причинами смерти от COVID-19 (прямые потери) считали случаи, когда основной причиной смерти указывались коды U07.1, U07.2. Количество смертей от причин, косвенным образом связанных с распространением SARS-CoV-2, в течение первого года пандемии рассчитывали как разность между средним предсказанным числом смертей от всех причин и фактическим числом смертей от COVID-19. Доли смертей от причин, косвенным образом связанных с COVID-19, рассчитывали как отношение числа косвенных (непрямых) причин к среднему предсказанному числу смертей от всех причин. Данные представлены как избыточная смертность от всех причин на 1000 взрослого населения, доли случаев смерти от всех причин за исключением U07.1 или U07.2 с 95%-м доверительным интервалом (95% ДИ).

В качестве внешних факторов, риск-модифицирующих уровень смертности, рассмотрены следующие признаки, характеризующие химическую нагрузку в 2020 г.: площадь городской территории на 1 человека (га/1 чел.); суммарное количество выбросов промышленных источников и автотранспорта на 1 га городской площади (тыс. т/га); индексы опасности при ингаляционном пути поступления поллютантов, тропных к респираторной и сердечно-сосудистой системам (HIresp и HIcon соответственно определены в соответствии с руководством¹); уровень риска при краткосрочном воздействии для веществ рефлекторного действия (risk acute). Последний показатель рассчитан в дни с неблагоприятными метеоусловиями для рассеивания химических примесей согласно учебно-методическому пособию². Кроме того, учтены показатели деятельности органов здравоохранения (источник информации – форма федерального статистического наблюдения № 30 «Сведения о медицинской организации»): число врачей (на 10 тыс. населения); укомплектованность медицинских учреждений врачебными кадрами (%); обеспеченность койками круглосуточного пребывания (на 10 тыс. населения); доля выездов скорой медицинской помощи в срок до 40 мин (%); число госпитализированных (на 1000 населения). В качестве показателя, отражающего накопленные потери здоровья к началу пандемии, по данным ф. 30 за 2019 г. учтена доля лиц в возрасте старше трудоспособного, находящихся на диспансерном учёте по причине хронических болезней (на 1000 населения соответствующего возраста). Так как смертность населения прямо зависит от возраста, в качестве риск-модифицирующего фактора учтена доля лиц старше трудоспособного возраста (%).

Влияние учтённых факторов по уровню информативности оценивали с применением меры Кульбака, величина которой может находиться в пределах от 0 (малая информативность) до 2 (высокая) [24]. Для этого определены два диапазона для каждого фактора: ниже среднего и выше среднего для региона. Информационную меру Кульбака распределения *i*-х признаков по двум (в нашем случае) градациям рассчитывали в соответствии с формулой (1):

$$I(xj) = \sum (P_{il} - P_{lj}) \cdot \log_2(P_{il}/P_{lj}) \quad (1),$$

где $I(xj)$ – информационная мера Кульбака; P_{il} – вероятность появления *i*-й градации в первом классе; P_{lj} – вероятность появления *i*-й градации во втором классе. Вероятность – частота появления *i*-й градации в соответствующем классе.

Результаты

Число избыточных смертей и избыточная смертность на 1000 населения представлены в табл. 1. Наибольший уровень избыточной смертности взрослого населения зарегистрирован в Ангарске (4,73%), что в 1,5 раза выше, чем в Братске и Иркутске.

Доля смертности от причин, не связанных с COVID-19, в Ангарске составила 62,6 (58,9–66,3%). В возрастной группе 18–44 года минимальное количество дополнительных случаев смертей зарегистрировано в Братске – как от всех причин, так и от причин, не связанных с COVID-19 (табл. 2). В группах среднего возраста различий по отдельным городам не выявлено. В Иркутске доля смертей от некovidных причин в старшей возрастной группе составила 47,6 (45–50,3%), что статистически значимо меньше, чем в Ангарске и Братске ($p < 0,05$).

Величины риск-модифицирующих факторов в изучаемых городах представлены в табл. 3. Иркутск отличается большим количеством выбросов вредных веществ на 1 га площади, превышением диапазона по показателю индекса опасности для респираторной и сердечно-сосудистой систем. При этом для города характерна укомплектованность врачами, обеспеченность койко-местами, оперативное оказание скорой медицинской помощи на границе или в пределах верхнего диапазона, доля лиц трудоспособного возраста – ниже границ диапазона. Таким образом, по величине риск-модифицирующих факторов Иркутск попадает в низкий и высокий диапазон значений. По занимаемой площади Братск превосходит Иркутск и Ангарск, поэтому величина выбросов вредных веществ на 1 га городской площади меньше, чем в других городах. Вместе с тем индексы опасности для респираторной и сердечно-сосудистой систем выше приемлемого уровня, но входят в нижний диапазон. Ангарск характеризуется высоким значением выбросов вредных веществ на 1 га, индексы опасности для респираторной и сердечно-сосудистой систем входят в нижний диапазон, но превышают приемлемый уровень ($HI > 1$). При этом медико-санитарная служба Ангарска имеет низкую обеспеченность врачами и койками круглосуточного пребывания.

¹ Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

² Оценка риска для здоровья населения от воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Гигиенические показатели уровня загрязнения атмосферы. Учебно-методическое пособие. Минск, 2019. <https://rep.bsmu.by/bitstream/BSMU/24804> (Дата обращения: 25.04.2025 г.).

Таблица 2 / Table 2

Избыточная смертность взрослого населения городов по возрастным группам в 2020 г.

Excess mortality in the adult population in cities by age groups over 2020

Возрастная группа Age group	Город City	Число дополнительных случаев смерти Number of additional deaths		Доля смертей от причин, не связанных с COVID-19, % The proportion of deaths from causes unrelated to COVID-19, %	
		от причин, не связанных с COVID-19 from causes unrelated to COVID-19	всего total	среднее mean	95% ДИ 95% CI
18–44 года 18–44 years	Ангарск / Angarsk	35	40	87.5	75.2–96.3
	Братск / Bratsk	5	11	45.5	16.7–75.7
	Иркутск / Irkutsk	116	141	82.3	75.5–88.2
45–59 лет 45–59 years	Ангарск / Angarsk	85	115	73.9	65.5–81.6
	Братск / Bratsk	75	99	75.8	66.8–83.7
	Иркутск / Irkutsk	194	293	66.2	60.7–71.5
Старше 60 лет Over 60 years	Ангарск / Angarsk	364	579	62.9	58.9–66.7
	Братск / Bratsk	320	519	61.7	57.4–65.8
	Иркутск / Irkutsk	633	1329	47.6	45.0–50.3

Таблица 3 / Table 3

Характеристика территорий по величине риска-модифицирующих факторов

Characteristics of territories by the magnitude of risk-modifying factors

Факторы Factors	Границы диапазонов, нижний / верхний Range limits, lower / upper	Ангарск Angarsk	Братск Bratsk	Иркутск Irkutsk
Площадь городской территории, га на 1 человека Urban area, hectare per one person	< 0.05 / ≥ 0.05	0.03	0.19	0.04
Выбросы вредных веществ, тыс. т на 1 га городской площади Emissions of harmful substances, thousands per 1 hectare of urban area	< 4 / ≥ 4	4.7	2.8	5.3
Индекс опасности для респираторной системы / Respiratory hazard index	< 10 / ≥ 10	7.8	8.3	13.7
Индекс опасности для сердечно-сосудистой системы Cardiovascular hazard index	< 2 / ≥ 2	2	1.8	3.3
Риск краткосрочного ингаляционного воздействия Risk of short-term inhalation exposure	< 0.006 / ≥ 0.006	0.382	0.138	0.058
Число врачей на 10 тыс. населения / Number of doctors, per 10 000 people	< 30 / ≥ 30	21.1	27	45.5
Укомплектованность врачами, % / Staffing with doctors, %	< 50 / ≥ 50	50.7	49.6	66.3
Обеспеченность койками на 10 тыс. населения Provision with beds per 10 thousand population	< 50 / ≥ 50	38.7	51.2	48.1
Выезды скорой медицинской помощи в срок до 40 мин, % Ambulance dispatches within 40 minutes, %	< 15 / ≥ 15	4.2	25.5	12.0
Случаи диспансерного учёта в группе старше трудоспособного возраста на 1000 населения Cases of dispensary registration in the group of people over working age per 1000 population	< 1300 / ≥ 1300	1 295	1 266.8	1 394.1
Число госпитализированных на 1000 населения Number of hospitalizations per 1000 population	< 1.5 / ≥ 1.5	1.95	1.92	1.33
Доля населения старше трудоспособного возраста, % Proportion of population over working age, %	< 30 / ≥ 30	24.8	31.8	26.1

Распределение случаев сверхсмертности в зависимости от величин риск-модифицирующих факторов позволило оценить их частотность и рассчитать информативность (табл. 4).

Значимость рассматриваемых факторов для формирования сверхсмертности выше для причин, не связанных с коронавирусной инфекцией, за исключением частоты вре- мени выездов скорой медицинской помощи более 40 мин ($I = 0,23$, что в 4,6 раза выше, чем для нековидных причин)

и $HICor$ ($I = 0,11$ против 0,05). Для нековидных причин наиболее информативны: риск краткосрочного химического ингаляционного воздействия на уровне 0,006 при повторяемости более 10% от числа наблюдений ($I = 0,61$); случаи диспансерного учёта по поводу хронических болезней в группе населения старше трудоспособного возраста ($I = 0,61$); $HIresp$, число госпитализированных, укомплектованность врачебными кадрами и число врачей на 10 000 населения (во всех случаях $I = 0,26$).

Таблица 4 / Table 4

Информативность риск-модифицирующих факторов для сверхсмертности взрослого населения промышленных центров в 2020 г.
Informativeness of risk-modifying factors for excess mortality in the adult population in industrial centers over 2020

Факторы Factors	Мера Кульбака для факторов Kullback's measure for factors	
	сверхсмертность от всех причин excess mortality from all causes	сверхсмертность от причин, не связанных с COVID-19 excess mortality from causes unrelated to COVID-19
Площадь городской территории, га на 1 человека / Urban area, hectare per one person	0.01	0.05
Выбросы вредных веществ, тыс т на 1 га городской площади Emissions of harmful substances, thousands per 1 hectare of urban area	0.01	0.05
Индекс опасности для респираторной системы / Respiratory hazard index	0.01	0.26
Индекс опасности для сердечно-сосудистой системы / Cardiovascular hazard index	0.11	0.05
Риск краткосрочного ингаляционного воздействия / Risk of short-term inhalation exposure	0.11	0.61
Количество врачей на 10 тыс населения / Number of doctors, per 10 000 population	0.11	0.05
Укомплектованность врачами, % / Staffing with doctors, %	0.11	0.26
Обеспеченность койками на 10 тыс населения / Provision of beds per 10 thousand population	0.17	0.26
Выезды скорой медицинской помощи в срок до 40 мин, % / Ambulance dispatches within 40 minutes, %	0.23	0.05
Случаи диспансерного учёта в группе старше трудоспособного возраста на 1000 населения Cases of dispensary registration in the group of people over working age per 1000 population	0.11	0.61
Число госпитализированных на 1000 населения / Number of hospitalizations per 1000 population	0.00	0.26
Доля населения старше трудоспособного возраста, % / Proportion of population over working age, %	0.01	0.05

Обсуждение

Среди показателей общественного здоровья особое место занимает смертность населения. В период пандемии COVID-19 увеличилось число случаев смерти, рассматриваемое как сверхсмертность. В исследовании A. Vieira и соавт. (2020) с помощью метода среднесуточных исторических значений зарегистрированных смертей и модели авторегрессионной интегрированной скользящей средней показано, что избыточная смертность регистрировалась почти каждый день в течение периода исследования [25]. С помощью временных рядов для определения прямого вклада COVID-19 в смертность в США оценили смертность сверх сезонных базовых показателей с марта 2020 г. по апрель 2021 г., которая во время пандемии выросла от всех причин, за исключением рака [13]. Авторы считают, что из исследуемых 666 000 смертей 90% связаны с COVID-19. Отметим, что в рассматриваемом нами случае обеспеченность ресурсами здравоохранения низкая, а укомплектованность врачами составляет лишь 50% от штатного расписания. Население городов подвергается постоянному воздействию загрязнения, уровень которого значительно превышает допустимый. При исследовании смертности в крупных городах Иркутской области установлено, что в первый год пандемии число дополнительных случаев смерти составило 2945, из них от причин, связанных с COVID-19, – 65,9%.

Проведённое нами трёхэтапное изучение влияния риск-модифицирующих факторов на уровень сверхсмертности взрослого городского населения в первый год пандемии позволило сформировать два ранговых ряда. Более значимы факторы для причин, не связанных с COVID-19 (I приоритетных факторов находятся в пределах 0,26–0,61), к которым относятся накопленные хронические болезни в старшей возрастной группе, воздействие веществ с рефлекторно-раздражающим действием и некоторые показатели обеспеченности ресурсами здравоохранения. В первый год пандемии для всех причин сверхсмертности (в том числе для новой коронавирусной инфекции) величина информативности рассматривали-

емых факторов ниже ($I = 0,11\text{--}0,23$). Важную роль в снижении числа случаев смерти играло время выезда бригад скорой медицинской помощи, обеспеченность ресурсами здравоохранения, особенно врачебными кадрами; доля лиц старше трудоспособного возраста с хроническими болезнями, индекс ингаляционной опасности для системы кровообращения и краткосрочного воздействия аэраполлютантов.

Полученные результаты частично корреспондируют с данными других авторов. Так, в ходе исследований, проведённых в Республике Башкортостан, методом иерархического линейного моделирования выявили дифференциацию смертности населения и ресурсного обеспечения здравоохранения, определив влияние факторов с учётом их уровня [15]. К.В. Шельгин и соавт. показали, что снижение уровня жизни населения с ростом дисфункциональности системы здравоохранения указывает на ухудшение показателей популяционного здоровья [3]. При оценке косвенного воздействия во время пандемии COVID-19 на оказание помощи по направлению диагностики и лечения БСК в Англии исследователи выяснили, что спрос и предложение на услуги по борьбе с БСК резко сократились во всех странах, что привело к значительной, но предотвратимой избыточной смертности во время пандемии [26]. Q. Wang и соавт. (2020) рассмотрели данную проблему с учётом скорости реагирования на чрезвычайную ситуацию при COVID-19 [27].

Избыточная смертность в пандемийный год подтверждается результатами других исследователей, показавших, что основной причиной смерти населения были сердечно-сосудистые катастрофы [17, 21, 26]. Поэтому умеренная значимость влияния загрязнения атмосферного воздуха веществами, тропными к тканям системы кровообращения, при уровнях $HI > 2$ представляется обоснованной. Мы согласны с мнением J. Baek и соавт. (2021), утверждающих, что пандемию новой коронавирусной инфекции можно рассматривать как масштабный стрессор биологической природы, повлекший рост смертности от болезней системы кровообращения [28]. Кроме того, нами показана роль кра-

ткосрочного загрязнения воздушного бассейна веществами рефлекторно-раздражающего действия, прежде всего твёрдыми частицами, что согласуется с данными исследований, проведённых в различные годы, в том числе в период COVID-19 [11, 12, 22, 29].

На основании выполненных исследований можно рекомендовать использование методов математического моделирования и технологии ситуационного анализа с расчётом прогностических показателей для выявления зон риска на различных территориях. Из рассмотренных нами городов наиболее неблагополучная ситуация сложилась в Ангарске, где на фоне низкой обеспеченности койками круглосуточного пребывания и врачами, неполной укомплектованности кадрами, высокого риска краткосрочного ингаляционного воздействия избыточная смертность от всех причин составила в 2020 г. 4,73 случая на 1000 взрослого населения, что выше, чем в Братске и Иркутске. По нашему мнению, целесообразно проводить прогнозирование исходя не из временной зависимости, так как она может нарушаться вследствие изменения факторов или возникновения новых, а из факторной. Однако данный подход требует дальнейшего изучения роли отдельных факторов и выбора наиболее значимых.

Ограничения данного исследования связаны с тем, что анализ сверхсмертности населения проведён на примере первого года пандемии в промышленных центрах Восточной Сибири. Отметим, что регулярная регистрация причины смертности от коронавирусной инфекции среди населения данных территорий отмечена с июля 2020 г. Возможно, изучение сверхсмертности при максимальном развитии пандемии позволило бы выявить другие особенности. На полученных результатах также может отразиться сложность выбора первопричины смерти, связанная с COVID-19, что влияет на структуру смертности. Данный факт отмечают и в других исследованиях [26, 30].

Заключение

Результаты наших исследований и анализ данных научной литературы подтверждают, что смертность населения отражает сложный многовариантный комплекс изменяющихся экзо- и эндогенных факторов, следовательно, для её снижения необходимо найти пути оптимизации, базирующиеся не на отдельных клинических, гигиенических, эпидемиологических подходах, а на системном анализе зависимостей, учитывающем междисциплинарные знания, с применением комплекса математико-статистических методов. Последовательный анализ многолетних данных по суточной смертности с использованием адаптивных моделей экспоненциального сглаживания и авторегрессионных моделей скользящего среднего, позволяющих учитывать тренд, сезонность и цикличность ряда, прогнозирование временных рядов и оценка влияния риск-модифицирующих факторов по их информативности позволили выявить зону наибольшего риска и построить ранговые ряды.

Для сверхсмертности от причин, не связанных с COVID-19, приоритетными факторами, информативность которых находилась в пределах 0,26–0,61, являются случаи диспансерного учёта в группе лиц старше трудоспособного возраста = риск краткосрочного ингаляционного воздействия > укомплектованность врачами = обеспеченность койками круглосуточного пребывания = индекс опасности для респираторной системы, обусловленный воздействием химических загрязнителей = число госпитализированных. Для сверхсмертности от всех причин информативность приоритетных факторов ниже (0,11–0,23), ранговый ряд можно представить следующим образом: выезды бригад скорой медицинской помощи в срок до 40 мин > обеспеченность койками > случаи диспансерного учёта в группе лиц старше трудоспособного возраста = риск краткосрочного ингаляционного воздействия = укомплектованность врачами = число врачей = индекс опасности для системы кровообращения.

Литература

(п.п. 4, 7, 9, 11–13, 16, 22, 25–30 см. References)

- Лещенко Я.А., Лисовцов А.А. Смертность как индикатор санитарно-эпидемиологического статуса населения региона. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(12): 1495–501. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1495-1501> <https://elibrary.ru/zlcpvu>
- Халтурин Д.А., Зыков В.А., Зубкова Т.С. Подход «Здоровье во всех политиках» и оценка регулирующего воздействия на общественное здоровье в России и мире. *Общественное здоровье*. 2021; 1(4): 15–33. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-4-15-33> <https://elibrary.ru/lrgksn>
- Шелыгин К.В., Сумароков Ю.А. Динамические характеристики медико-демографических показателей популяционного здоровья Архангельской области: первое двадцатилетие XXI века: ретроспективное аналитическое описательное исследование. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2023; 30(2): 54–63. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-2-54-63>
- Ревич Б.А. Риски здоровью населения в «горячих точках» от химического загрязнения арктического макрорегиона. *Проблемы прогнозирования*. 2020; (2): 148–57. <https://elibrary.ru/zbmrxn>
- Ракитский В.Н., Стёпкин Ю.И., Клепиков О.В., Куролап С.А. Оценка канцерогенного риска здоровью городского населения, обусловленного воздействием факторов среды обитания. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(3): 188–195. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195> <https://elibrary.ru/ovkewt>
- Левченко О.В., Герасимов А.Н., Кучма В.Р. Влияние социально-экономических факторов на заболеваемость детей и подростков социально значимыми и основными классами болезней. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2018; (8): 21–5. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-305-8-21-25> <https://elibrary.ru/xxhla>
- Зайцева Н.В., Жданова-Заплевсичко И.Г., Землянова М.А., Переходгин А.Н., Савиных Д.Ф. Опыт организации и проведения санитарно-эпидемиологических исследований по выявлению и доказательству связи нарушений здоровья населения с качеством атмосферного воздуха в зонах влияния хозяйствующих субъектов. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2021; (1): 4–15. <https://elibrary.ru/kdjfsy>
- Воевода М.И., Чернышев В.М., Мингазов И.Ф. Особенности естественного движения населения в Сибирском федеральном округе в период пандемии коронавирусной инфекции. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2023; 43(5): 184–94. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20230521> <https://elibrary.ru/oqvws>
- Лакман И.А., Тимирянова В.М., Закирьянова Г.Т. Изучение влияния на смертность населения обеспеченности ресурсами здравоохранения с использованием метода иерархического линейного моделирования. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2021; 65(6): 540–8. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-6-540-548> <https://elibrary.ru/adkvzy>
- Шляхто Е.В., Конради А.О., Каронова Т.Л., Федотов П.А. Пандемия COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания. Уроки и перспективы. *Вестник Российской академии наук*. 2022; 92(7): 686–90. <https://doi.org/10.31857/S0869587322070192> <https://elibrary.ru/jbxaq>
- Кригер Е.А., Постоев В.А., Гржебовский А.М. Статистические подходы к оценке избыточной смертности: обзор предметного поля на примере пандемии COVID-19. *Экология человека*. 2023; (7): 483–98. <https://doi.org/10.17816/humeco595937> <https://elibrary.ru/txelkv>
- Семенова В.Г., Иванова А.Е., Сабгайда Т.П., Евдокушкина Г.Н., Запорожченко В.Г. Первый год пандемии: социальный отклик в контексте причин смерти. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2022; 66(2): 93–100. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-2-93-100> <https://elibrary.ru/hcevng>
- Савина А.А., Землянова Е.В., Фейгинова С.И., Тарасов Н.А. Оценка сдвигов возрастного профиля смертности взрослых в Москве в период пандемии. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2022; 66(6): 451–8. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-6-451-458> <https://elibrary.ru/bksgbc>
- Ефимова Н.В., Бобкова Е.В., Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Возрастная динамика смертности населения от болезней системы кровообращения в период пандемии при снижении загрязнения атмосферного воздуха. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 925–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-925-931> <https://elibrary.ru/lgcdfm>
- Балабина Н.М., Безгодов И.В., Белых А.И., Богданова О.Г., Боева А.В., Ефимова Н.В. и др. *Профилактическая медицина. Актуальные медико-экологические проблемы Сибири*. Иркутск; 2022. <https://elibrary.ru/cuqqwx>
- Гублер Е.В., Генкин А.А. *Применение непараметрических методов статистики в медико-биологических исследованиях*. Ленинград: Медицина; 1973. <https://elibrary.ru/ziqhfx>

References

1. Leshchenko Ya.A., Lisovtsov A.A. Exogenous and endogenous mortality parameters as indicators of the sanitary and epidemiological status of the population of the region. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(12): 1495–501. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1495-1501> <https://elibrary.ru/zlcpvu> (in Russian)
2. Khalturina D.A., Zykov V.A., Zubkova T.S. “Health in all policies” approach and health impact assessment in Russia and the world. *Obshchestvennoe zdorov'e*. 2021; 1(4): 15–33. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-4-15-33> <https://elibrary.ru/lrgksn> (in Russian)
3. Shelygin K.V., Sumarokov Yu.A. Dynamic characteristics of medical and demographic indicators of public health in Arkhangelsk Oblast in the first twenty years of the XXI century: retrospective analytical descriptive study. *Kubanskii nauchnyi meditsinskii vestnik*. 2023; 30(2): 54–63. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-2-54-63> (in Russian)
4. GBD 2021 Demographics Collaborators. Global age-sex-specific mortality, life expectancy, and population estimates in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1950–2021, and the impact of the COVID-19 pandemic: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2024; 403(10440): 1989–2056. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(24\)00476-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(24)00476-8)
5. Revich B.A. Population health risks in the chemical pollution hotspots of the Arctic macroregion. *Studies On Russian Economic Development*. 2020; 31(2): 148–57. <https://doi.org/10.1134/S1075700720020100> <https://elibrary.ru/cahphn>
6. Rakitskii V.N., Stepin Yu.I., Klepikov O.V., Kurolap S.A. Assessment of carcinogenic risk caused by the impact of the environmental factors on urban population health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(3): 188–95. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195> <https://elibrary.ru/ovkewt> (in Russian)
7. Huang W., Zhou Y., Chen X., Zeng X., Knibbs L.D., Zhang Y., et al. Individual and joint associations of long-term exposure to air pollutants and cardiopulmonary mortality: a 22-year cohort study in Northern China. *Lancet Reg. Health West. Pac.* 2023; 36: 100776. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100776>
8. Levchenko O.V., Gerasimov A.N., Kuchma V.R. The impact of socio-economic factors on the incidence of children and adolescents of socially significant and main classes of diseases. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNISO*. 2018; (8): 21–5. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2018-305-8-21-25> <https://elibrary.ru/xxlhd> (in Russian)
9. Tadayon S., Wickramasinghe K., Townsend N. Examining trends in cardiovascular disease mortality across Europe: how does the introduction of a new European Standard Population affect the description of the relative burden of cardiovascular disease? *Popul. Health Metr.* 2019; 17(1): 6. <https://doi.org/10.1186/s12963-019-0187-7>
10. Zaitseva N.V., Zhdanova-Zaplesvichko I.G., Zemlyanova M.A., Perezhogin A.N., Savinykh D.F. Experience in organizing and conducting epidemiological studies to detect and prove the causal relationship between ambient air quality and health disorders in the population of industrially contaminated sites. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNISO*. 2021; (1): 4–15. <https://elibrary.ru/kdjfsy> (in Russian)
11. Liu C., Cai J., Chen R., Sera F., Guo Y., Tong S., et al. Coarse particulate air pollution and daily mortality: a global study in 205 cities. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2022; 206(8): 999–1007. <https://doi.org/10.1164/rccm.202111-2657oc>
12. Health Effects Institute. State of Global Air 2020. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute; 2020. Available at: <https://stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-2020-report.pdf>
13. Huang W., Zhou Y., Chen X., Zeng X., Knibbs L.D., Zhang Y., et al. Individual and joint associations of long-term exposure to air pollutants and cardiopulmonary mortality: a 22-year cohort study in Northern China. *Lancet Reg. Health West Pac.* 2023; 36: 100776. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100776>
14. Voevodka M.I., Chernyshev V.M., Mingazov I.F. Features of natural population movement in the Siberian federal district during the coronavirus pandemic. *Sibirskii nauchnyi meditsinskii zhurnal*. 2023; 43(5): 184–94. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20230521> <https://elibrary.ru/oqvws> (in Russian)
15. Lakman I.A., Timiryanova V.M., Zakiryanova G.T. Study of the impact of available healthcare resources on the population's mortality rate using the hierarchical linear modelling. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2021; 65(6): 540–8. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-6-540-548> <https://elibrary.ru/adkvzy> (in Russian)
16. Lee W.E., Woo Park S., Weinberger D.M., Olson D., Simonsen L., Grenfell B.T., et al. Direct and indirect mortality impacts of the COVID-19 pandemic in the United States, March 1, 2020 to January 1, 2022. *Eliife*. 2023; 12: e77562. <https://doi.org/10.7554/elife.77562>
17. Shlyakhto E.V., Konradi A.O., Karonova T.L., Fedotov P.A. COVID-19 Pandemic and cardiovascular diseases. Lessons and prospects. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2022; 92(7): 686–90. <https://doi.org/10.31857/S0869587322070192> <https://elibrary.ru/xjbqy> (in Russian)
18. Krieger E.A., Postoev V.A., Grjibovski A.M. Statistical approaches for assessing excess mortality during the COVID-19 pandemic: a scoping review. *Ekologiya cheloveka*. 2023; (7): 483–98. <https://doi.org/10.17816/humeco595937> <https://elibrary.ru/txelv> (in Russian)
19. Semyonova V.G., Ivanova A.E., Sabgaya T.P., Evdokushkina G.N., Zaporozhchenko V.G. The first year of the pandemic: social response in the context of causes of death. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2022; 66(2): 93–100. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-2-93-100> <https://elibrary.ru/hcevmg> (in Russian)
20. Savina A.A., Zemlyanova E.V., Feyginova S.I., Tarasov N.A. Assessment of shifts in mortality age profile of adult population in Moscow during pandemic. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2022; 66(6): 451–8. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-6-451-458> <https://elibrary.ru/bksgbc> (in Russian)
21. Efimova N.V., Bobkova E.V., Zarodnyuk T.S., Gornov A.Yu. Age trend in the mortality from diseases of the circulatory system during the pandemic under a decrease in air pollution. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(9): 925–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-925-931> <https://elibrary.ru/lgcdm> (in Russian)
22. Sheppard N., Carroll M., Gao C., Lane T. Particulate matter air pollution and COVID-19 infection, severity, and mortality: A systematic review and meta-analysis. *Sci. Total. Environ.* 2023; 880: 163272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163272>
23. Balabina N.M., Bezgodov I.V., Belykh A.I., Bogdanova O.G., Boeva A.V., Efimova N.V., et al. *Preventive Medicine. Current Medical and Environmental Problems of Siberia [Профилактическая медицина. Актуальные медико-экологические проблемы Сибири]*. Irkutsk; 2022. <https://elibrary.ru/cuqqwx> (in Russian)
24. Gubler E.V., Genkin A.A. *Application of Nonparametric Statistical Methods in Medical and Biological Research [Применение непараметрических методов статистики в медико-биологических исследованиях]*. Leningrad: Meditsina; 1973. <https://elibrary.ru/zighfx> (in Russian)
25. Vieira A., Ricoca Peixoto V., Aguiar P., Sousa P., Abrantes A. Excess non-COVID-19 mortality in Portugal: seven months after the first death. *Port. J. Public Health*. 2020; 38(Suppl. 1): 51–7. <https://doi.org/10.1159/000515656>
26. Banerjee A., Chen S., Pasea L., Lai A.G., Katsoulis M., Denaxas S., et al. Excess deaths in people with cardiovascular diseases during the COVID-19 pandemic. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2021; 28(14): 1599–609. <https://doi.org/10.1093/europ/jzaa155>
27. Wang Q., Zhang T., Zhu H., Wang Y., Liu X., Bai G., et al. Characteristics of and public health emergency responses to COVID-19 and H1N1 outbreaks: A case-comparison study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020; 17(12): 4409. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124409>
28. Baek J., Lee H., Lee H.H., Heo J.E., Cho S.M.J., Kim H. C. Thirty-six-year trends in mortality from diseases of circulatory system in Korea. *Korean Circ. J.* 2021; 51(4): 320–32. <https://doi.org/10.4070/kcj.2020.0424>
29. Lelieveld J., Pozzer A., Pöschl U., Fnais M., Haines A., Münzel T. Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. *Cardiovasc. Res.* 2020; 116(11): 1910–7. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025>
30. Armstrong D. The COVID-19 pandemic and cause of death. *Social. Health Illn.* 2021; 43(7): 1614–26. <https://doi.org/10.1111/1467-9566.13347>

Сведения об авторах

Ефимова Наталья Васильевна, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр., ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: med_eco_lab@list.ru
Грибовский Андрей Мечиславович, доктор мед. наук, советник ректора, Университет «Реавиз», 198095, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.grjibovski@yandex.ru

Рукавишников Виктор Степанович, член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, научный руководитель ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: rvs_2010@mail.ru

Мыльникова Инна Владимировна, доктор мед. наук, доцент, ст. науч. сотр., ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com
Кригер Екатерина Анатольевна, канд. мед. наук, доцент, доцент каф. инфекционных болезней, ФГБОУ ВО СГМУ, 163061, Архангельск, Россия. E-mail: kriger-ea@nsmu.ru

Information about the authors

Natalya V. Efimova, DSc (Medicine), professor, leading researcher, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> E-mail: med_eco_lab@list.ru

Andrey M. Grzhibovsky, PhD (Medicine), Advisor to the Rector, Private university "REAVIZ", Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5464-0498> E-mail: a.grjibovski@yandex.ru

Victor S. Rukavishnikov, DSc (Medicine), corresponding member of the RAS, professor, Scientific director, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2536-1550> E-mail: rvs_2010@mail.ru

Inna V. Mylnikova, DSc (Medicine), associate professor, senior researcher, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0169-4513> E-mail: inna.mylnikova.phd.ms@gmail.com

Ekatерина А. Кригер, PhD (Medicine), associate professor, associate professor of the Department of infectious diseases, Northern State Medical University, Arkhangelsk, 163061, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5179-5737> E-mail: kriger-ea@nsmu.ru