

Температура воздуха и здоровье населения в городах России: результаты первого странового исследования, 2000–19 гг.

Наталья Шартова, Барселонский институт глобального здравоохранения

Сергей Тимонин, Австралийский национальный университет

Предпосылки проведения данного исследования

- Оба автора – выпускники географического факультета МГУ им. Ломоносова;
- Наталья специализируется на вопросах медицинской географии; Сергей - на демографии и изучении смертности населения;
- В международной лаборатории исследования населения и здоровья ВШЭ удалость собрать длинные ряды индивидуальных деперсонифицированных данных об умерших, благодаря которым в принципе стало возможно проведение данного исследования.

Содержание

I. Предпосылки исследования

II. География исследования, источники данных

III. Методы исследования: нелинейные модели с распределенным лагом

IV. Основные результаты исследования

V. Take-away messages

Предпосылки исследования - 1

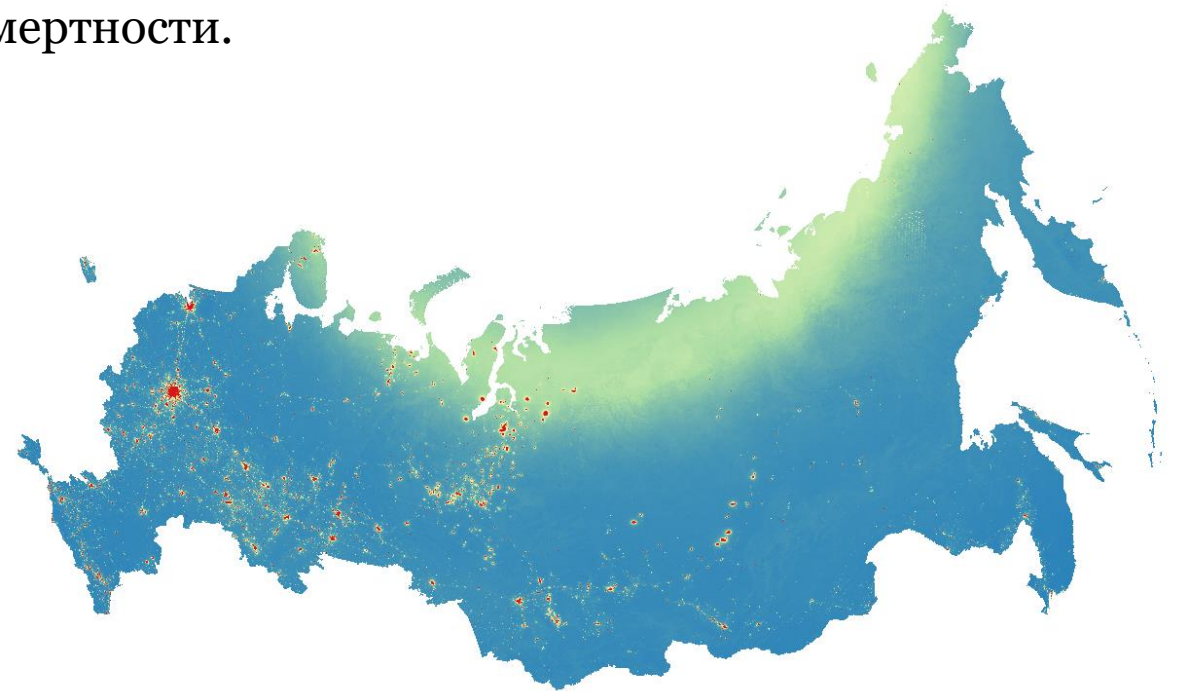
- Многочисленные волны жары на рубеже веков (Чикаго и Лондон в 1995 году, Западная Европа в 2003 году и Европейская Россия в 2010 году), а также недавние волны жары в Европе в 2022 и 2023 годах.
- Несмотря на значительный объем исследований, демонстрирующих негативное влияние волн жары и холода на здоровье и смертность населения, не хватает более полного изучения связи между суточной температурой окружающей среды и показателями здоровья, особенно для наиболее уязвимых групп населения, проживающих в различных климатических условиях.

Предпосылки исследования - 2

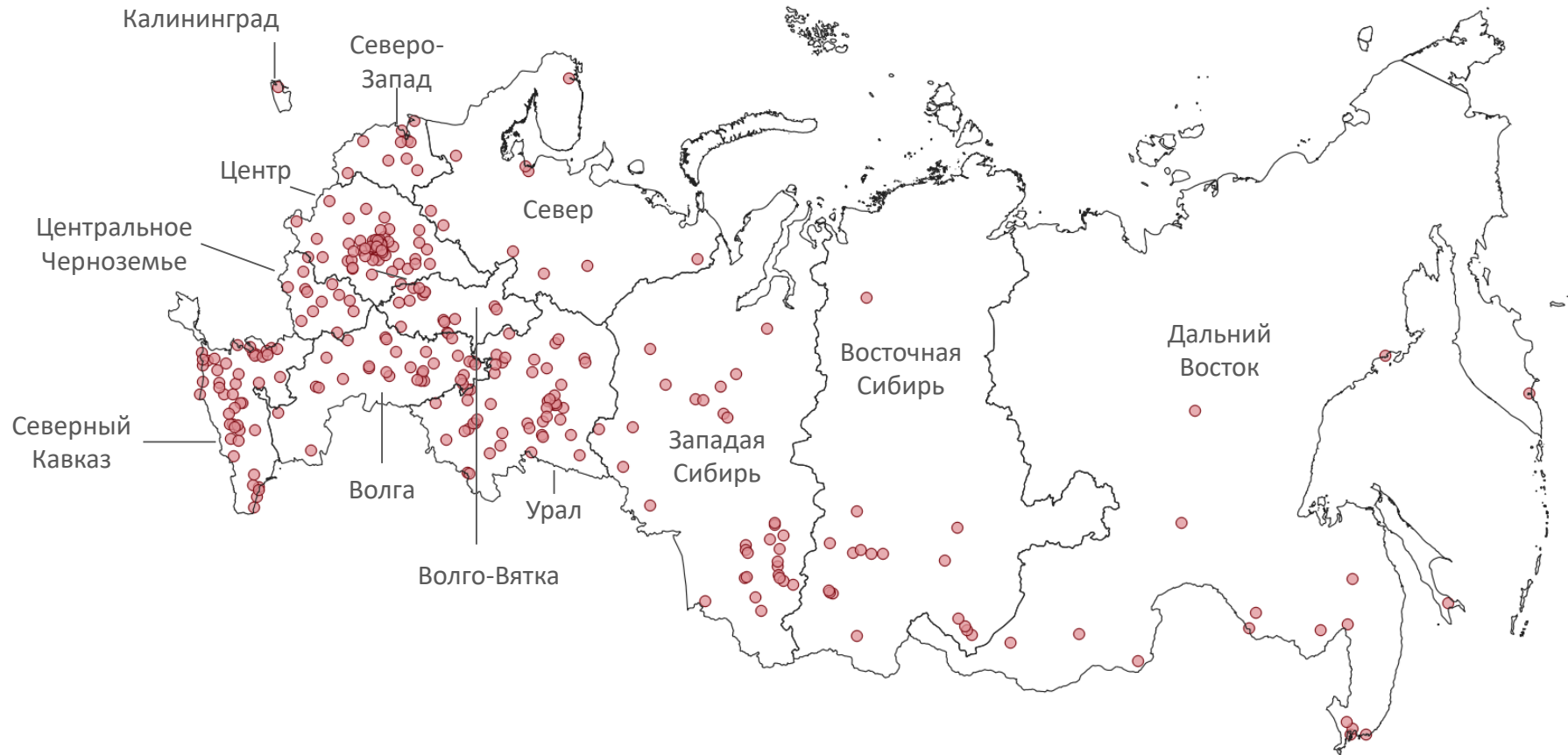
- Последние методологические достижения и улучшение качества и доступности данных позволили получить современные и более точные оценки связи между температурой и смертностью населения, но эти исследования охватывают лишь ограниченное число стран.
- Существующие данные о смертности, связанной с температурой, в России (а также в других странах Восточной Европы и Центральной Азии), как правило, ограничиваются исследованиями влияния волн жары или холода на смертность в отдельных городах.

Цель нашего исследования

- провести комплексный анализ связи температуры воздуха и смертности населения в разрезе крупнейших городов России, расположенных в разных географических зонах и включающих население с разным уровнем смертности.



География исследования: 300 крупнейших городов России



Данные - 1

Данные об умерших:

- Набор данных о ежедневных случаях смерти для 300 крупнейших городов России за период с 1 января 2000 года по 31 декабря 2019 года;
- 57% от всех и 78% от смертей среди городского населения России;
- Мы преднамеренно исключили внешние причины смерти (коды МКБ-10: V01-Y98), которые составили 10,7% смертей от всех причин;
- Общие число смертей, включённых в анализ - **19 044 538** смертей;
- Смерти были дополнительно стратифицированы по полу и трем возрастным группам: 0-59, 60-74 и 75+ лет.

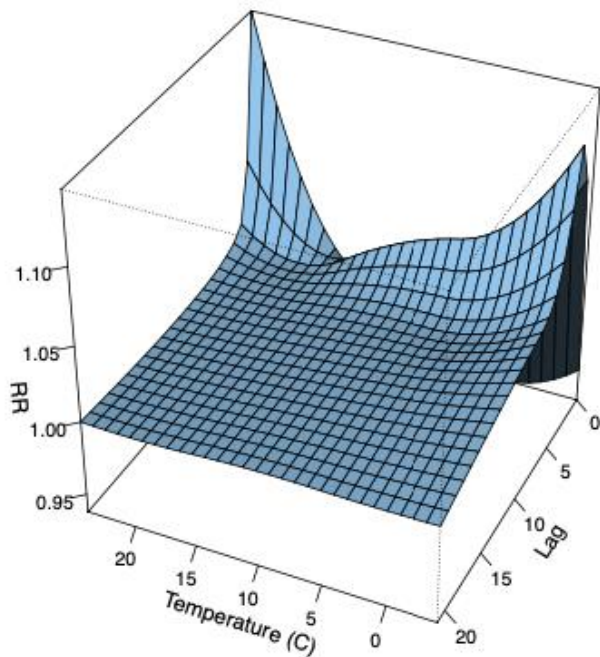
Данные - 2

Климатические данные:

- Данные реанализа ERA5-Land с разрешением $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$.

Социально-демографические данные (для мета-анализа):

- численность городского населения;
- доля населения в возрасте 65 лет и старше;
- доля населения с высшим образованием.



Эlegantная структура для моделирования сложных временных зависимостей

Первоначально разработанная для линейных ассоциаций (DLM), затем расширена для нелинейных реакций на воздействие (DLNM)

**Нелинейная
модель с
распределенным
лагом**

**Distributed lag
non-linear model**

Данные по смертности и температуре

Ежесуточное количество
смертей от естественных,
2000-2019

Росстат

Пол /
Возраст

мужчины

женщины

Оба пола

0-59

60-74

75+

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

✓

19 045 538 смертей =

89.3% от всех
смертей

Среднесуточная температура воздуха, 2000-2019

ERA5-Land

Модель для определения рисков смертности вследствие воздействия температуры

Метод анализа временных рядов

Метод разработан в эконометрике:

- *Модель с распределенным лагом*
- *Distributed lag model*

Изначально использовался для прогноза значения на основе наблюдений

Econometrica, Vol. 33, No. 1 (January, 1965)

THE DISTRIBUTED LAG BETWEEN CAPITAL APPROPRIATIONS AND EXPENDITURES¹

BY SHIRLEY ALMON

THIS PAPER PRESENTS a new distributed lag, very flexible and easy to estimate, and its application to the problem of predicting quarterly capital expenditures in manufacturing industries from present and past appropriations.² One would expect, encouraged by a few simple correlation coefficients, that computing the weighted sum of past appropriations which comprises current expenditures would require a distribution of weights which rise for a time, then decline. Here it is assumed only that successive weights lie on a polynomial. The plan is to estimate as regression coefficients a few points on the curve, taking account of the fact that polynomial interpolation will be used to interpolate between them for the remaining points. The same equation may include other variables with different distributed lags, or unlagged variables. Since the length of the distributed lag is generally not known in advance, it is necessary to estimate the distribution using varying numbers of periods, then choose the best among them.

Метод был адаптирован для определения взаимосвязи между фактором и эффектом в здоровье

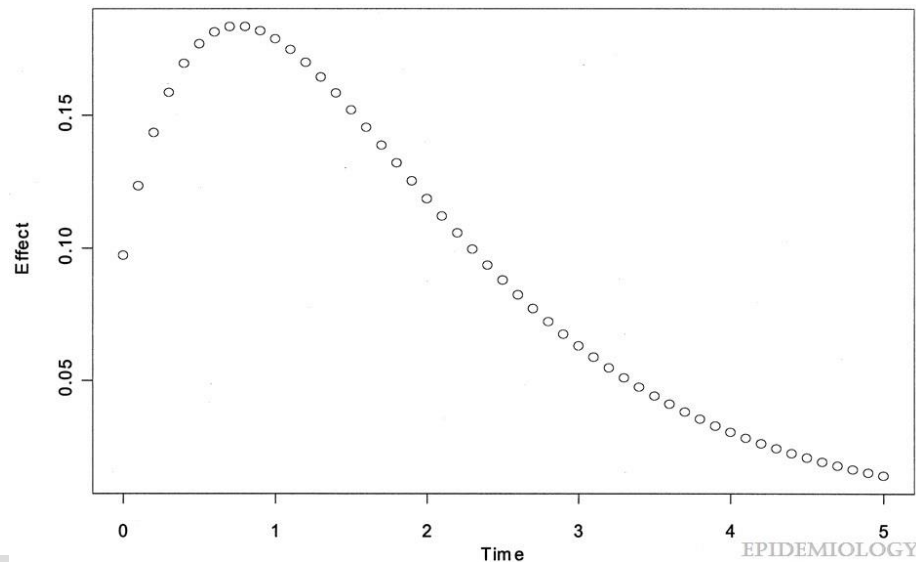
ORIGINAL ARTICLES

The Distributed Lag between Air Pollution and Daily Deaths

Schwartz, Joel

[Author Information](#) ✓

Epidemiology 11(3):p 320-326, May 2000.



Сдвиг от предсказания к оценке

Предполагаемая кривая, показывающая воздействие экологического токсина с течением времени

Целью данного анализа является определение фактической формы кривой, отображающей динамику смертности после воздействия PM10

Two-stage design

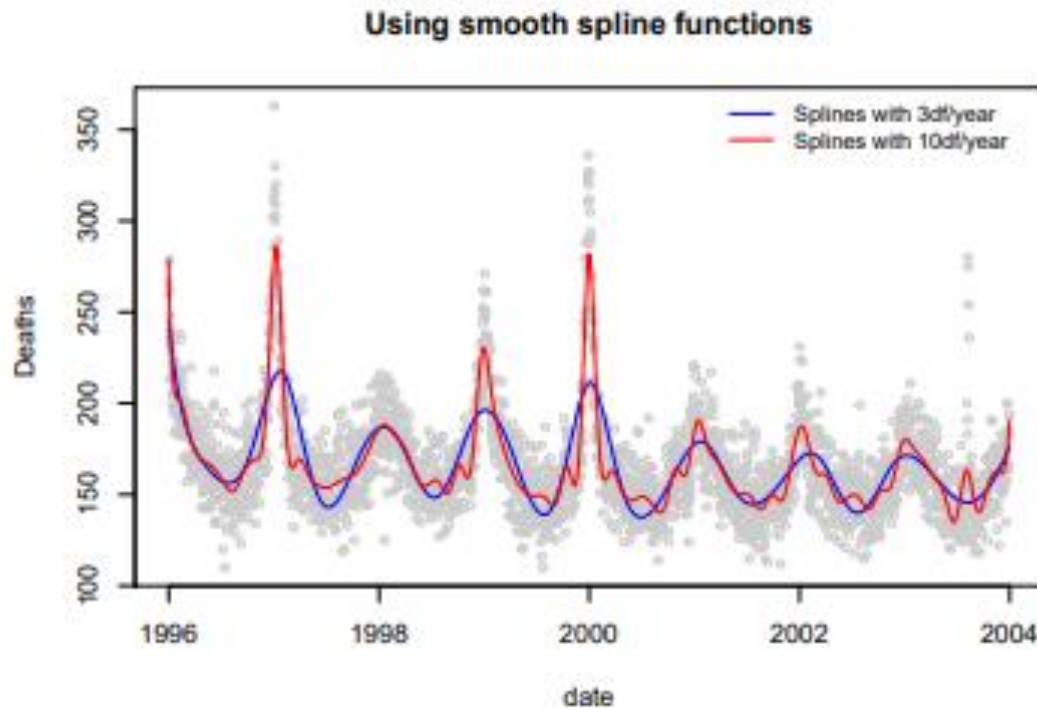
На первом этапе оцениваются ассоциации «воздействие-реакция», специфичные для конкретного местоположения

На втором этапе оценки объединяются с использованием методов метаанализа для получения финальных результатов



R package: DLNM, Mixmeta

Моделирование эпидемиологической зависимости «воздействие-реакция»



параметризации
воздействия-
реакции и лага-
реакции

событий

$$\text{ns}(\text{Time}_{it}, \text{df}=8/\text{year}) + \beta \text{DOW}_{it},$$

контроль сезонности и
тренда смертности

переменная
дня недели

Важно:

- Нелинейная ассоциация
- Задержка в реакции (лаг)

Оптимальные параметры модели

Cross-basis function:

- *natural cubic spline*
- *3 internal knots placed at the 10th, 75th, and 90th percentiles of temperature distributions*
- *lag = 21 days*

Seasonal and longer-term trends:

- *natural cubic spline of time with 8 df per year*

Control for:

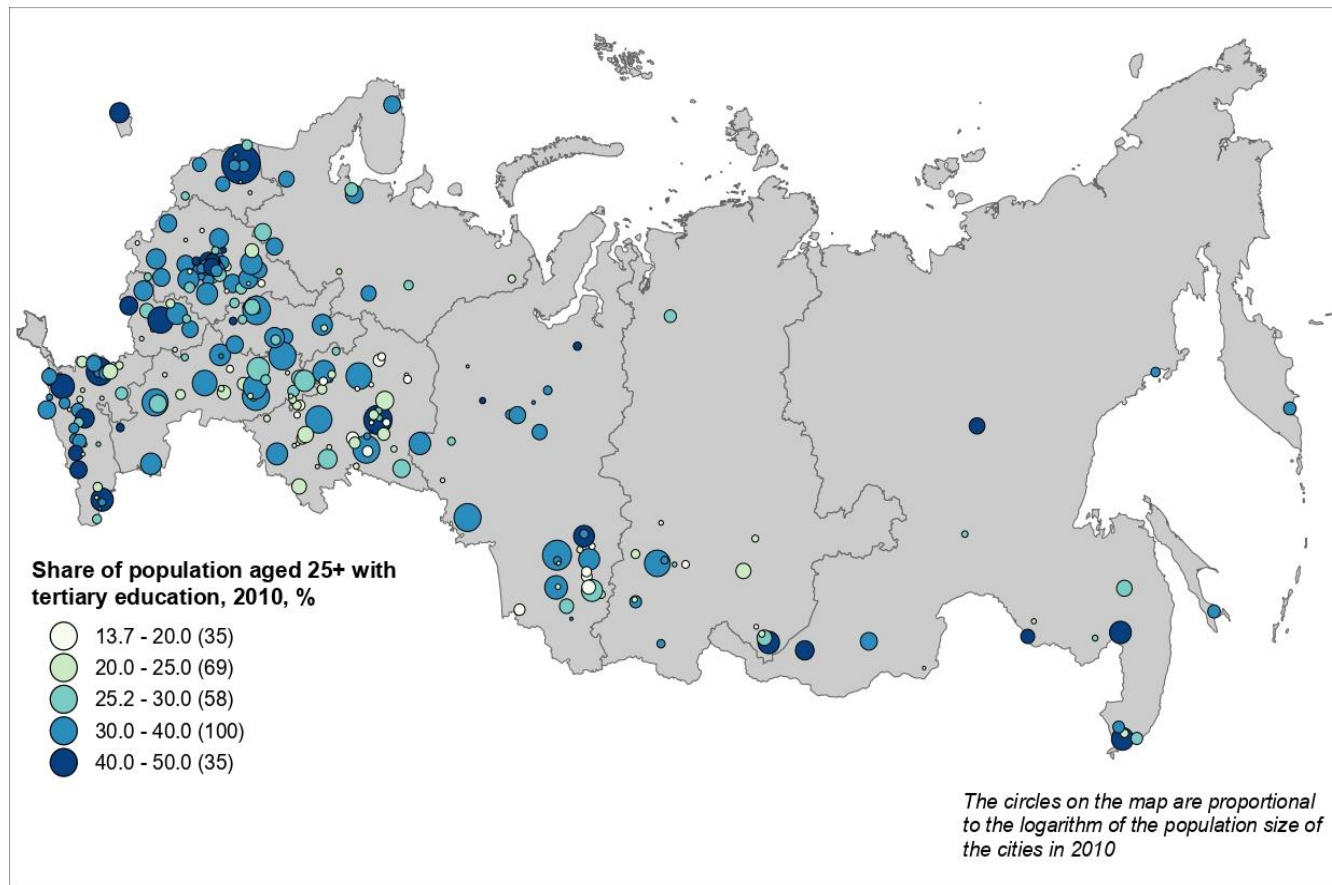
- *day of the week*
- *national holidays*

Переменные, используемые в качестве предикторов в мета-анализе

- Среднегодовая температура
- Интерквартильный размах температуры
- Численность населения
- % населения старше 65 лет
- % населения с высшим образованием

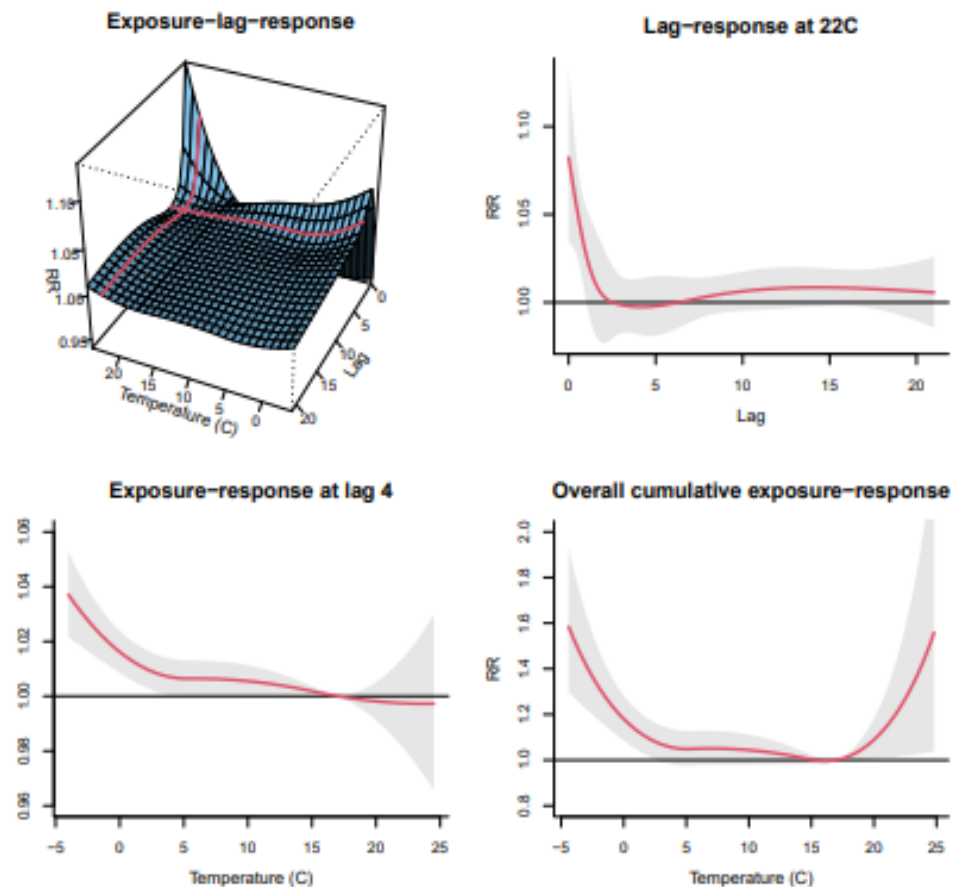
Random Effect:

Экономические регионы России

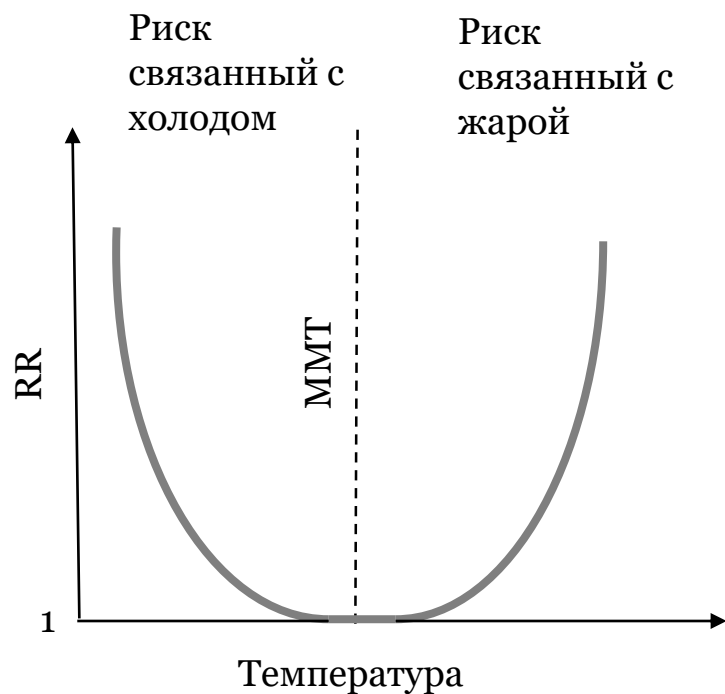


Выходные данные модели

- Поверхность риска (частота эффекта) по сетке температуры (воздействия) и лага
- Зависимости «воздействие-реакция» при определенных лагах
- Зависимости «задержка-реакция» при определенных значениях температуры
- Общая кумулятивная зависимость «воздействие-реакция», как эффект, накопленный с задержкой



Выходные данные модели



Температура минимальной смертности
Minimum mortality temperature (MMT)

Референсное значение температуры при котором
наблюдается минимальный риск

- Форма зависимости «воздействие — реакции»
- Кумулятивный относительный риск
- MMT
- Атрибутивная фракция риска / Attributable risk fraction (AF)
- Атрибутивное количество смертей / Attributable numbers (AN)

Анализ чувствительности к волне жары 2010 г.

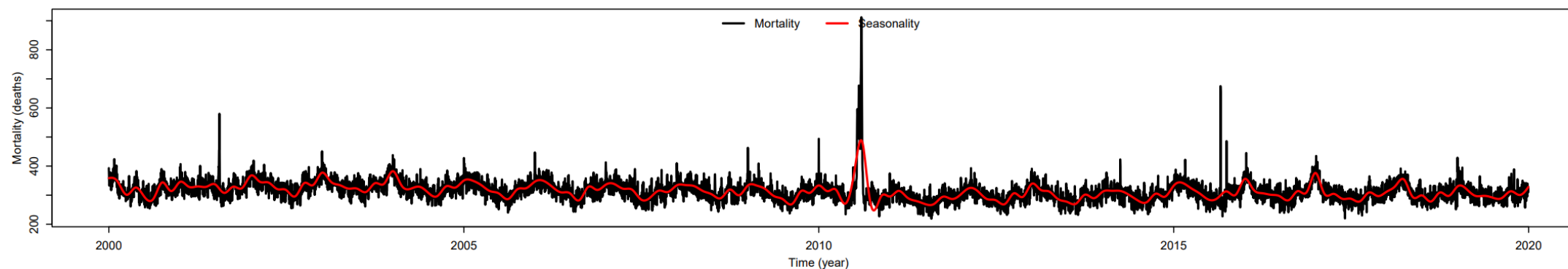
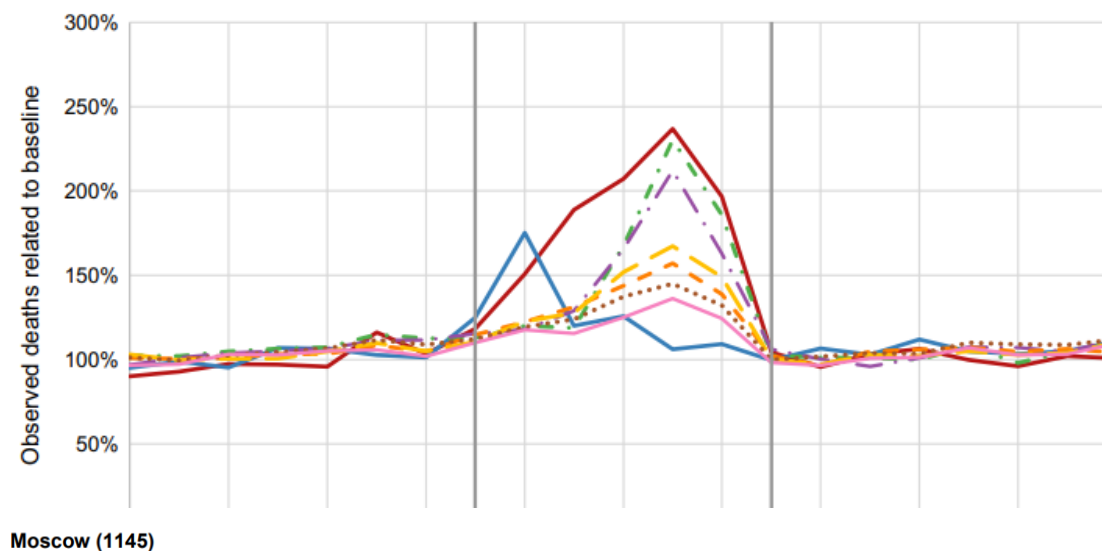
Vienna Yearbook of Population Research 2024 (Vol. 22), pp. 1–23
<https://doi.org/10.1553/p-42de-zc5p>



RESEARCH ARTICLE

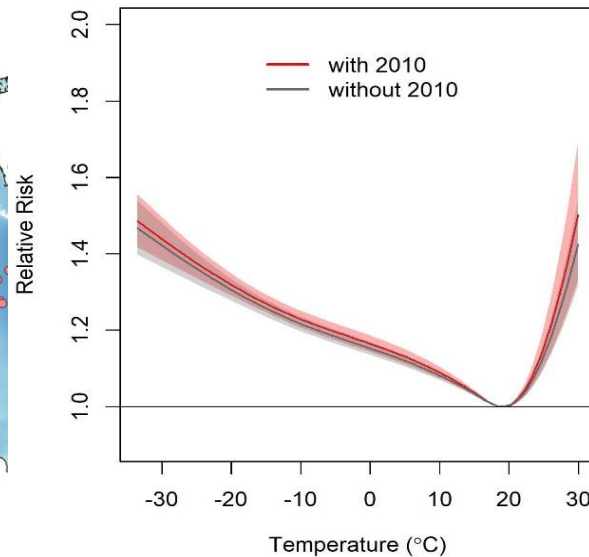
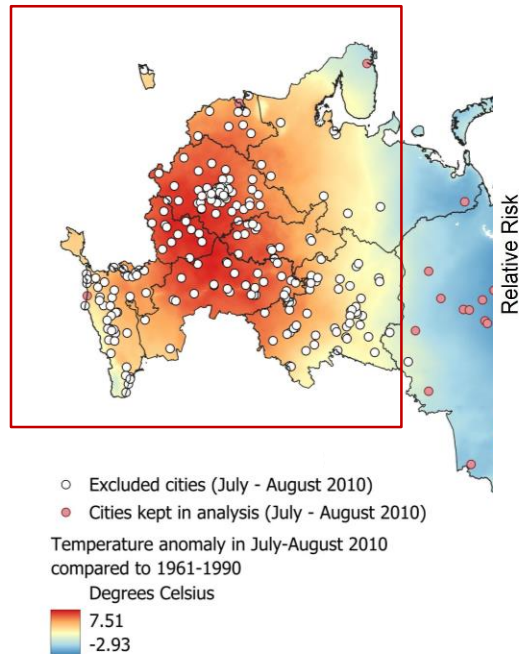
Urban–rural differences in mortality during the 2010 heatwave in European Russia

Mikhail Maksimenko¹, Sergey Timonin^{2,3}, Natalia Shartova⁴, and Mikhail Varentsov⁵

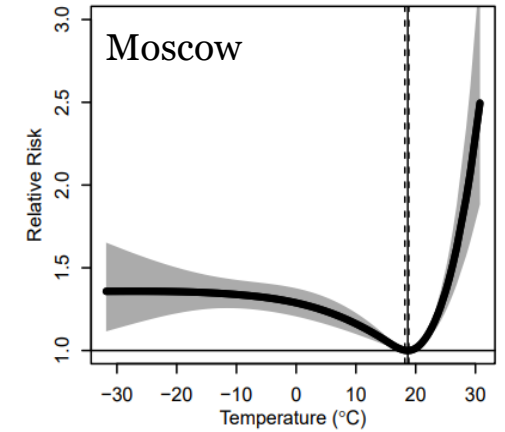
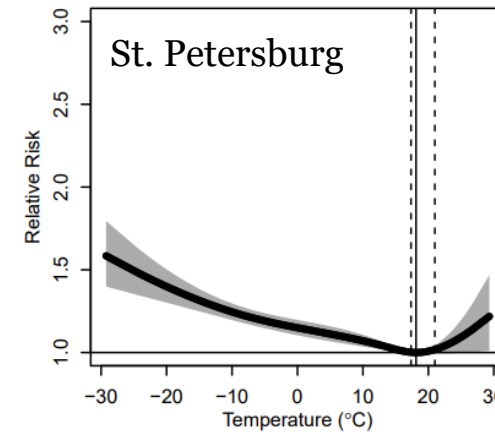


Sensitivity analysis to 2010 extreme heatwave

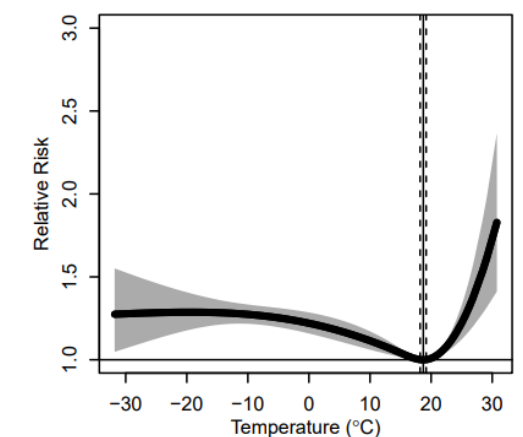
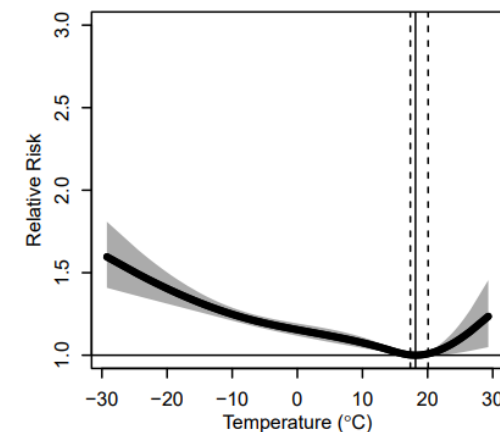
Кумулятивные зависимости, 2000-2019



А

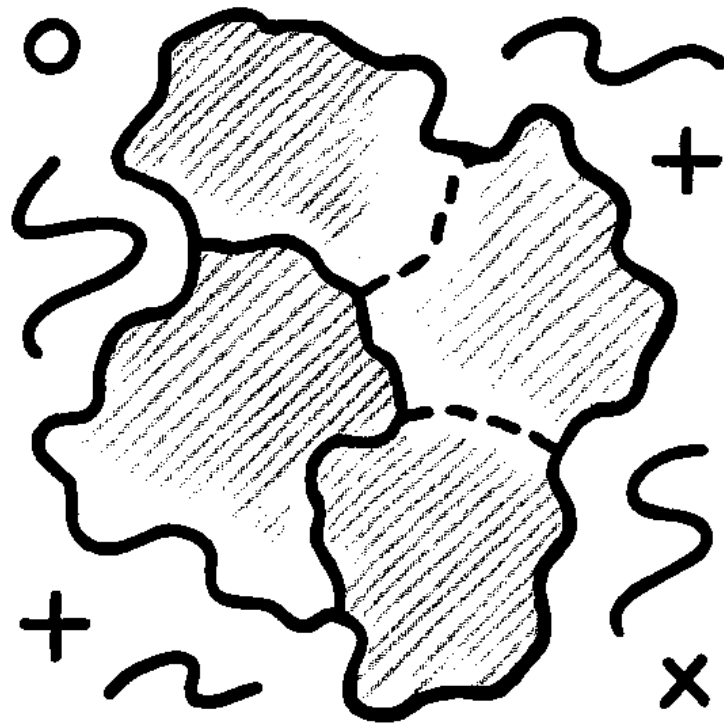


Б



А: С включением данных по июлю и августу 2010 г. в модель

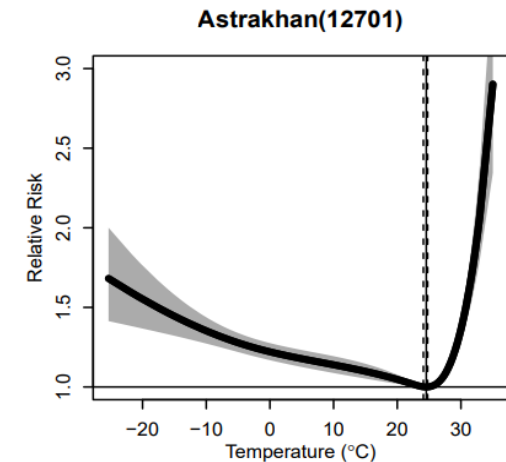
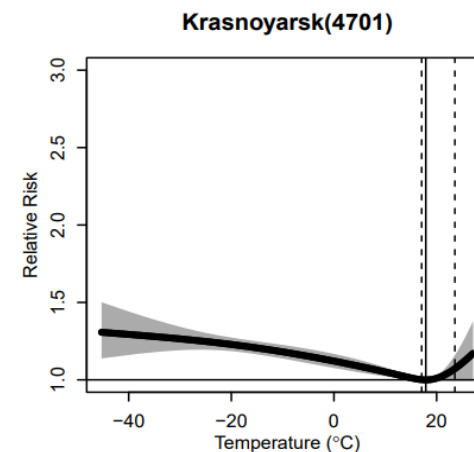
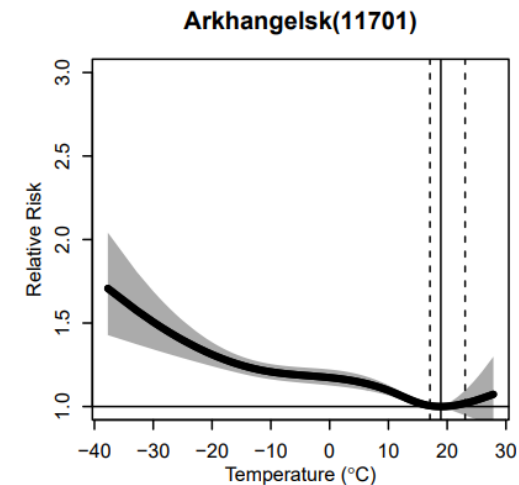
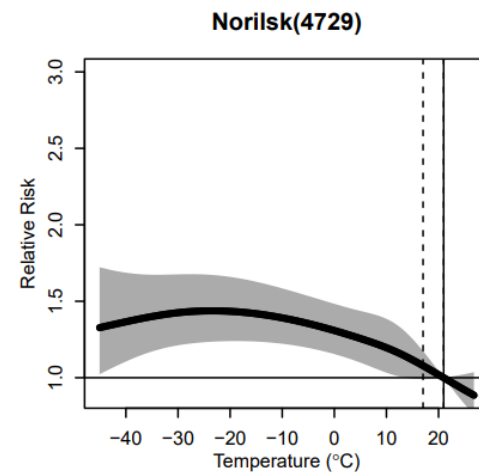
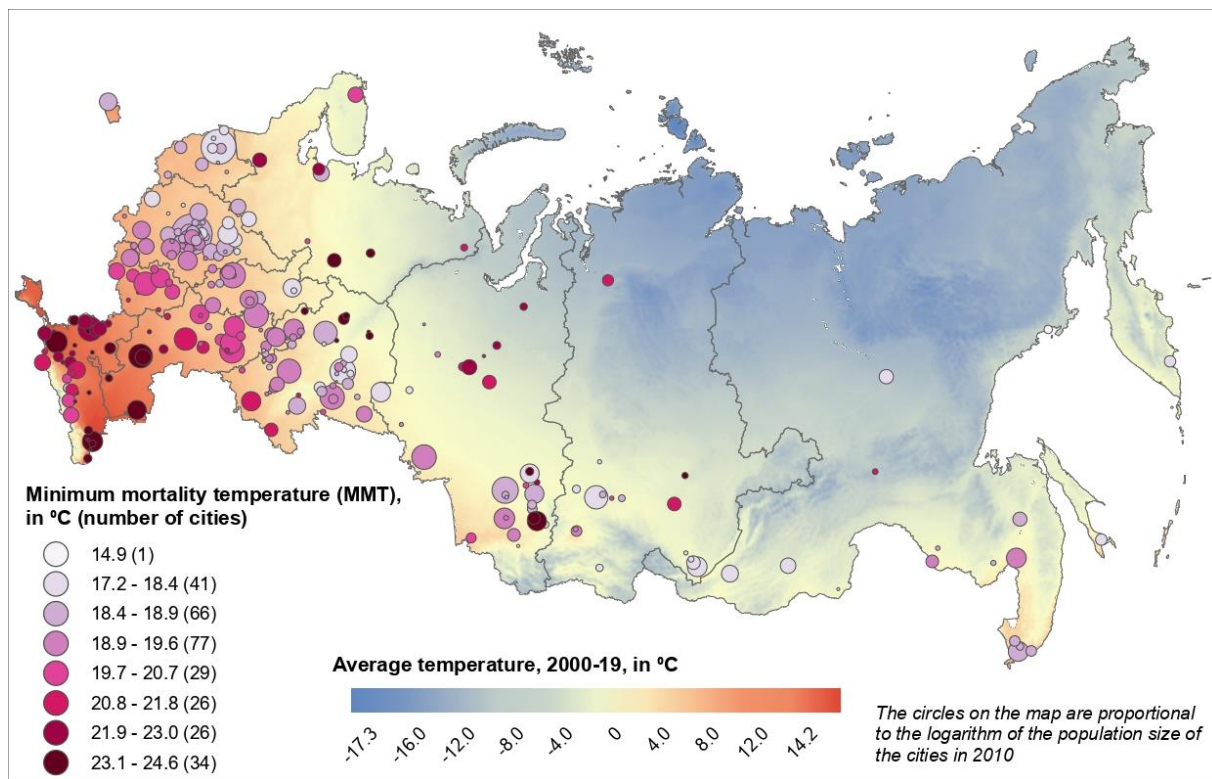
Б: Без включения данных по июлю и августу 2010 г. в модель



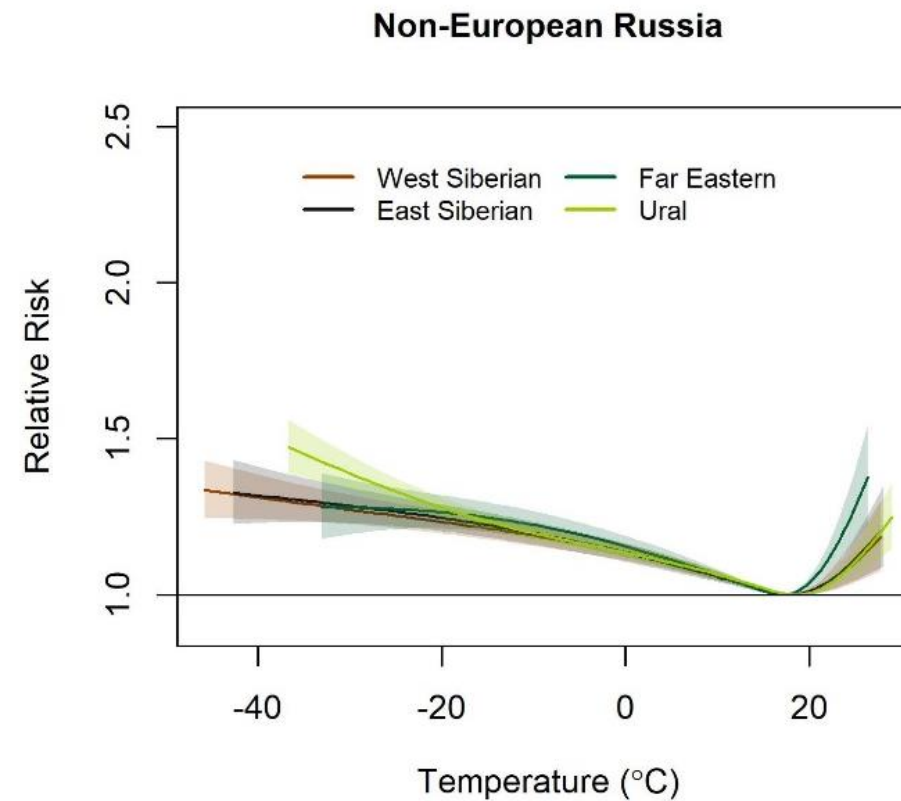
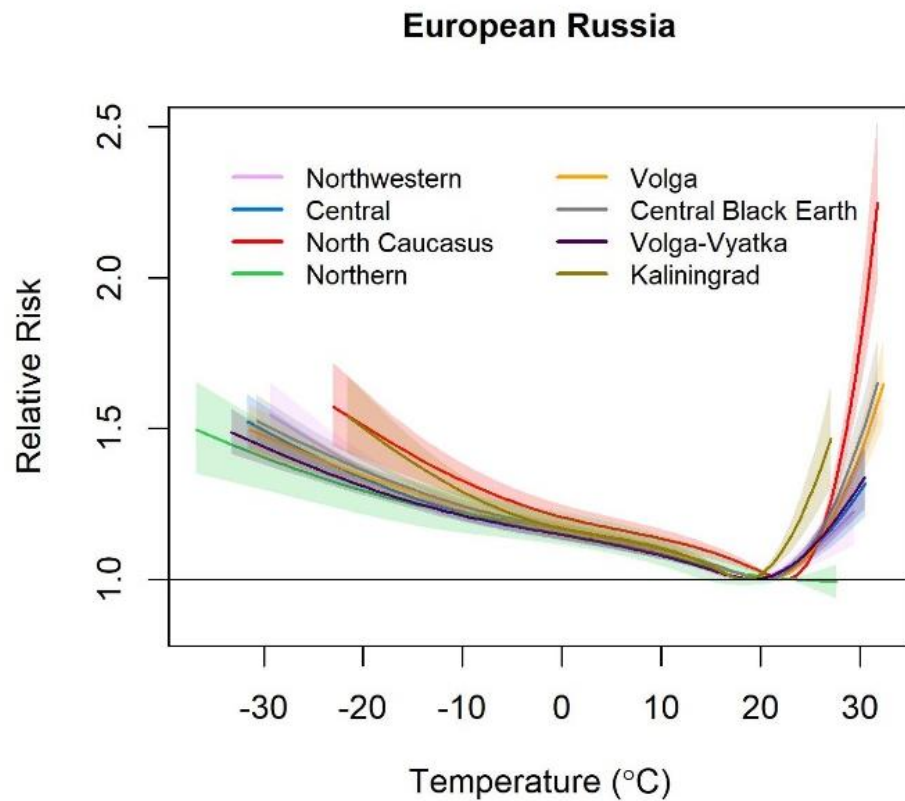
Результаты:

**Географические
различия в
риске
смертности**

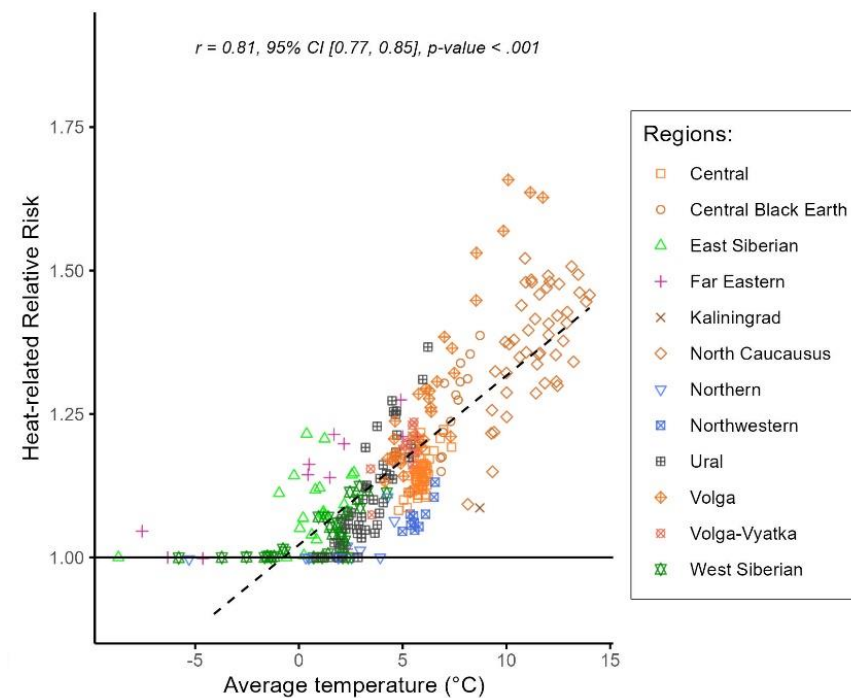
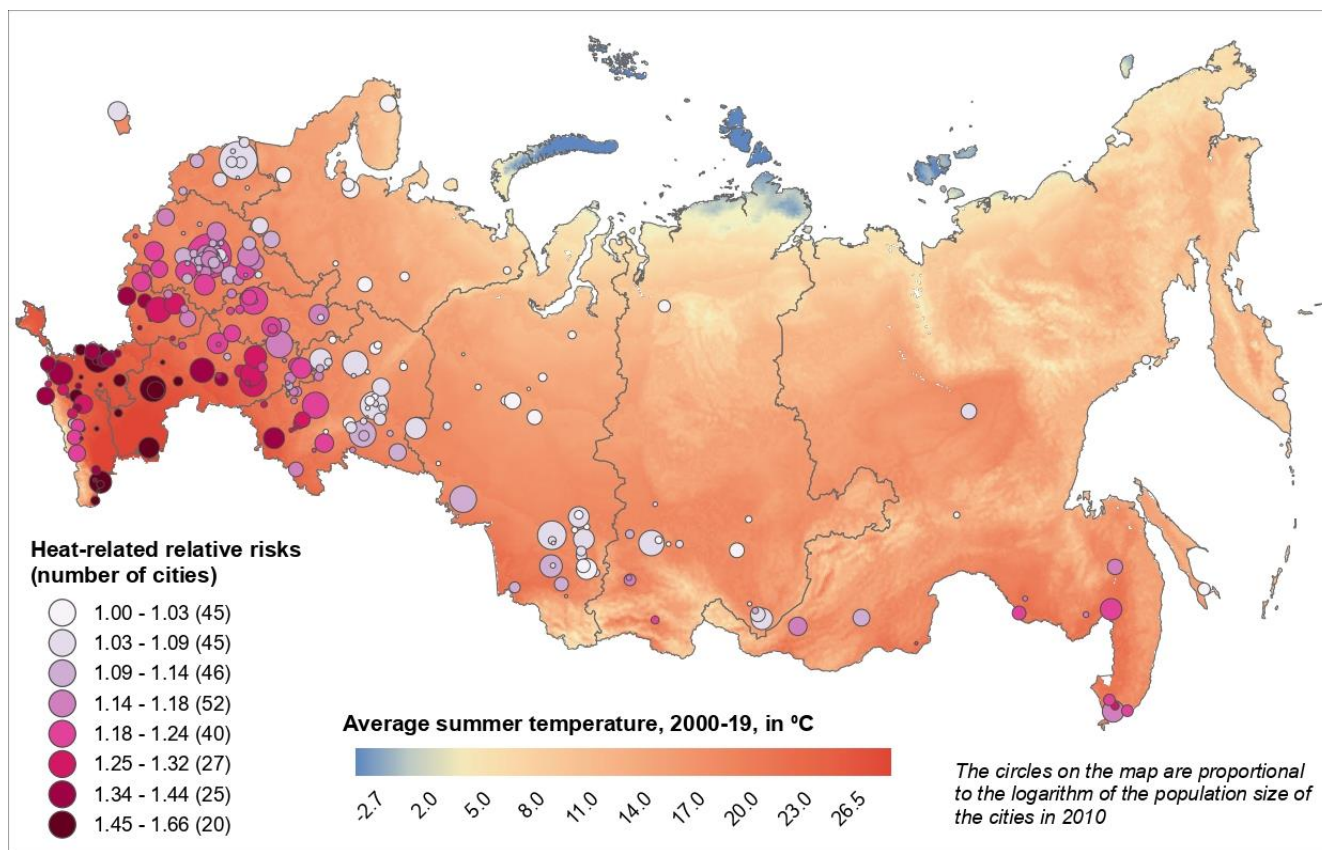
Температура минимальной смертности, 2000-2019



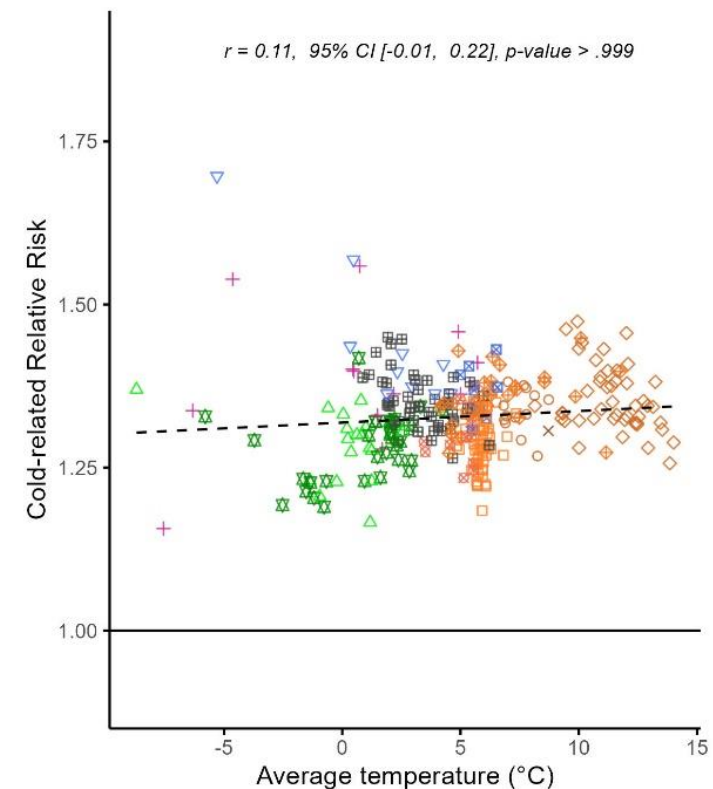
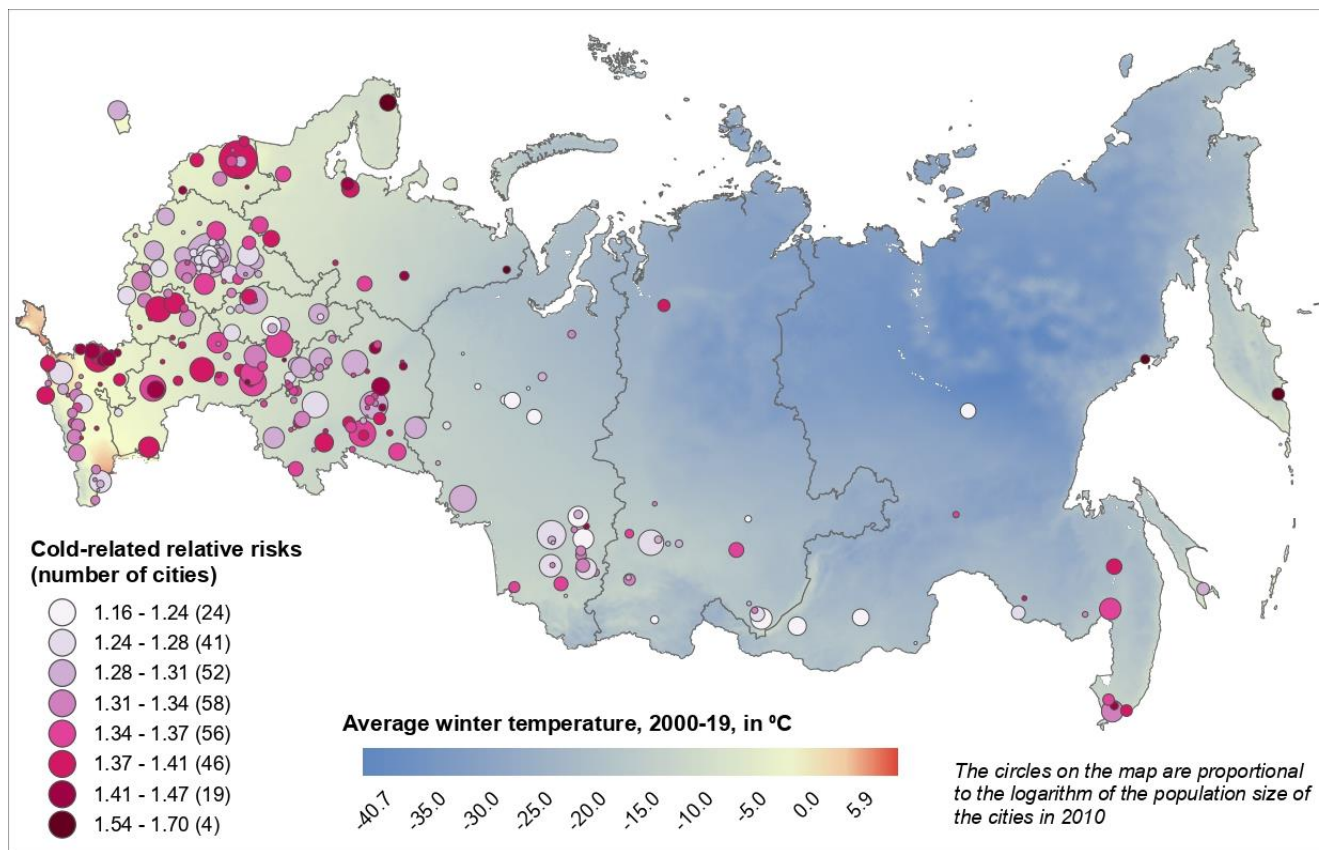
Европейская часть России более уязвима к воздействию жары. Различия в холодовом риске смертности не прослеживаются по территории



Риск смертности, связанный с жарой



Риск смертности, связанный с холодом



11.1% смертей связаны с неоптимальными температурами

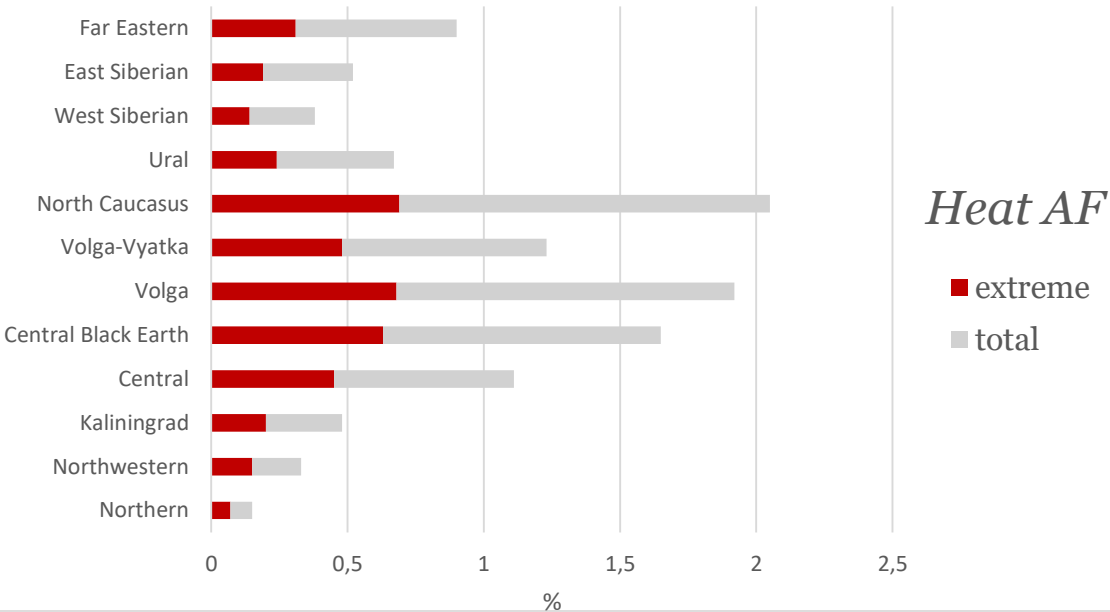
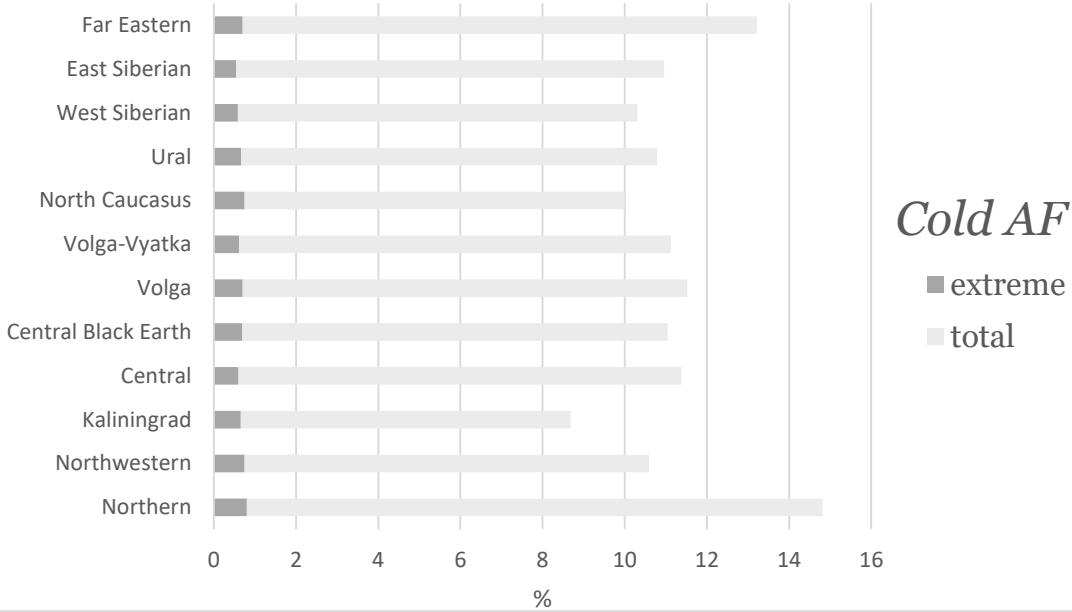
	Cold (95% CI)	Extreme cold (95% CI)	Heat (95% CI)	Extreme heat (95% CI)
Attributable fraction (%)	10.47 (8.80, 11.99)	0.65 (0.51, 0.78)	0.67 (0.42, 0.88)	0.40 (0.25, 0.52)
Attributable numbers (deaths)	99,631 (83,731, 11,4145)	6226 (4871, 7408)	6,376 (4,014, 8,345)	3793 (2414, 4940)

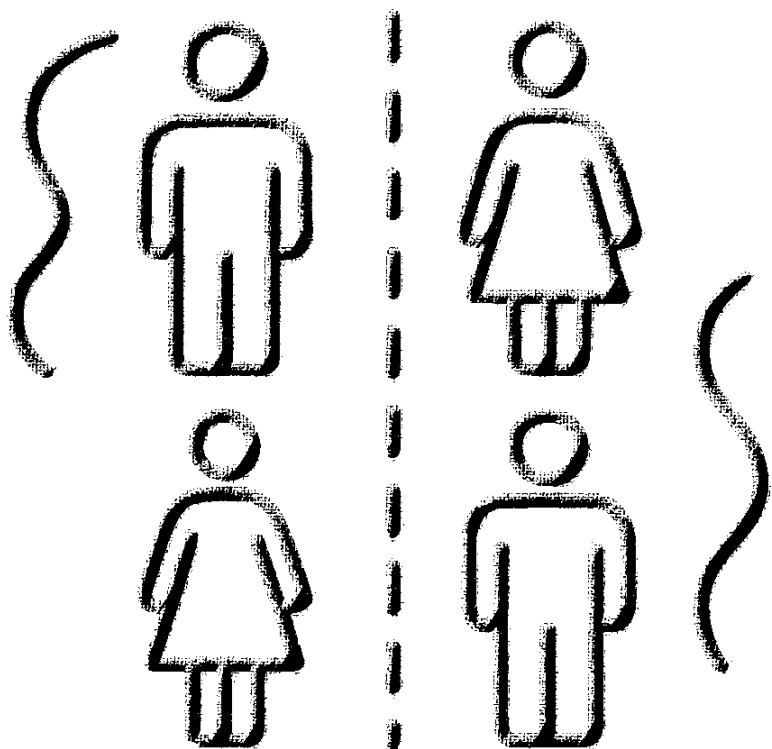
На основе сравнения данных с 854 городами Европы (Masselot et al., 2023):

- Диапазон АФ в Европейской России был близок к значениям Восточной Европы
- Значения АФ в северо-западных российских городах были очень похожи на значения, обнаруженные в Северной Европе (10% для холода и 0,2% для жары)
- Южные российские города, сопоставимые с Южной Европой, имели более высокие АФ как для холода (9,2% против 6,3%), так и для жары (1,4% против 1,2%)

1% смертей связаны с экстремальными температурами

	Cold (95% CI)	Extreme cold (95% CI)	Heat (95% CI)	Extreme heat (95% CI)
Attributable fraction (%)	10.47 (8.80, 11.99)	0.65 (0.51, 0.78)	0.67 (0.42, 0.88)	0.40 (0.25, 0.52)
Attributable numbers (deaths)	99,631 (83,731, 11,4145)	6226 (4871, 7408)	6,376 (4,014, 8,345)	3793 (2414, 4940)



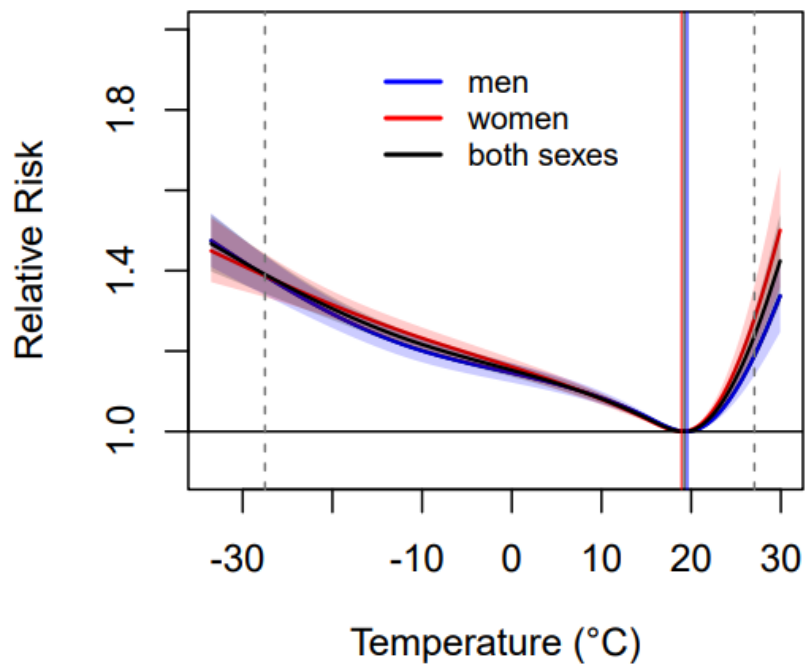


Результаты:

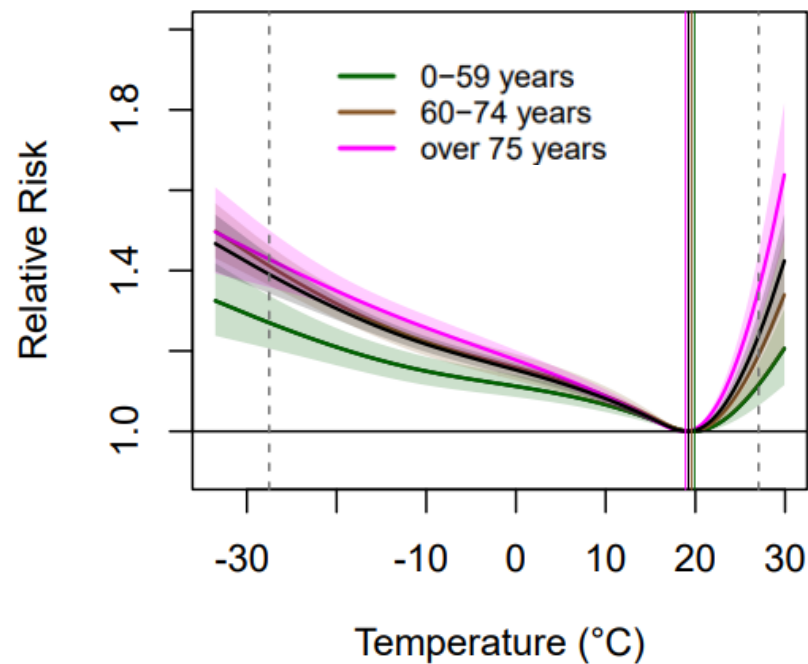
**Половозрастные
различия
в риске
смертности**

Женщины и люди старше 75 лет более уязвимы к воздействию жары

A. Total population stratified by sex

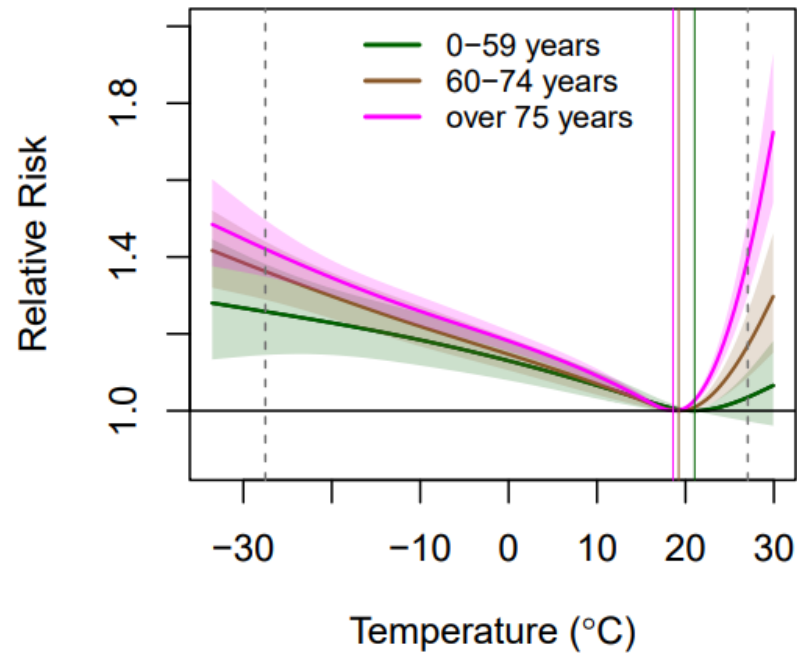


B. Total population stratified by age

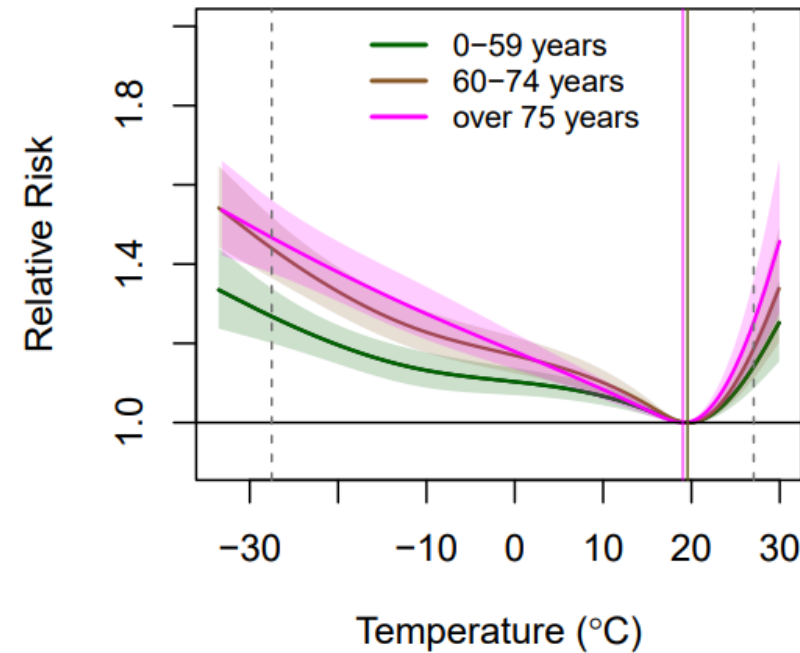


Различия в риске смертности обусловленном жарой более выражены среди женщин, чем среди мужчин

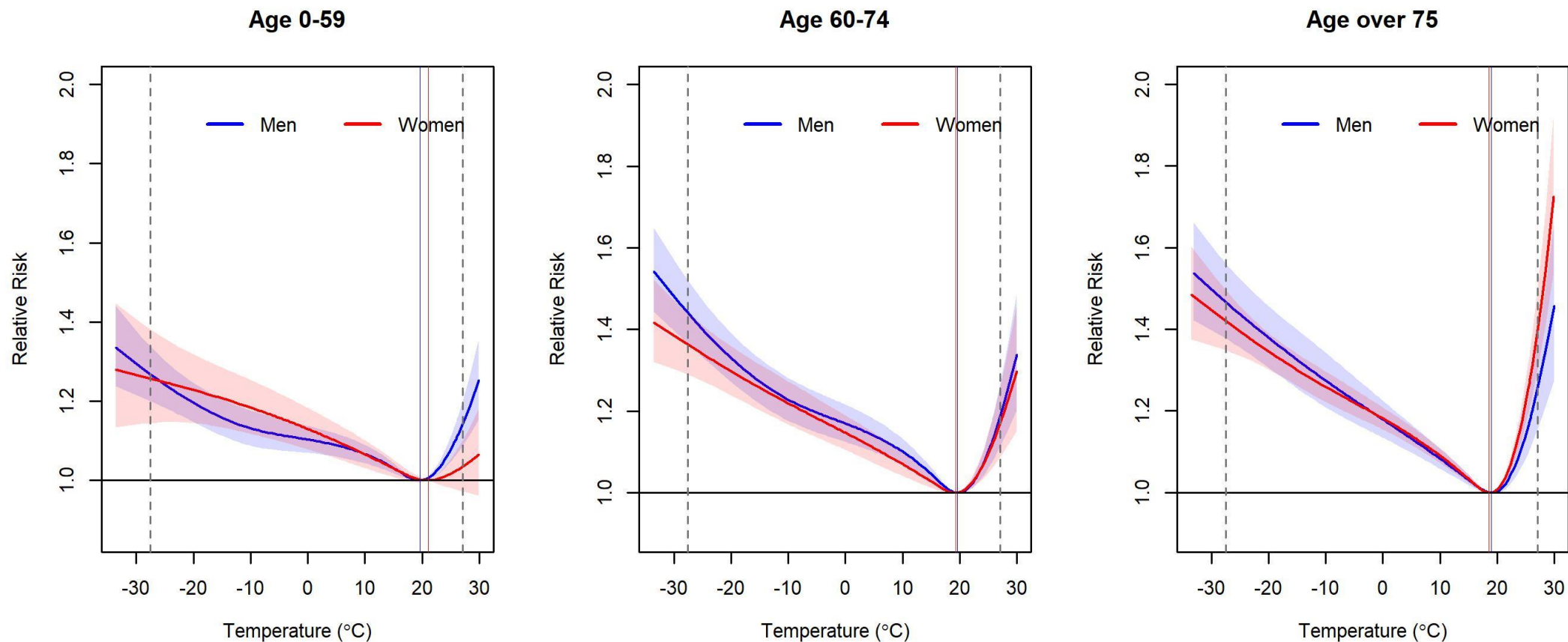
C. Female population stratified by age



D. Male population stratified by age



Среди мужчин среднего возраста наблюдается более высокий риск смертности, связанный с жарой, по сравнению с женщинами того же возраста



Аналогичные половозрастные различия обнаружены в Европе

nature medicine



Article

<https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>

Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022

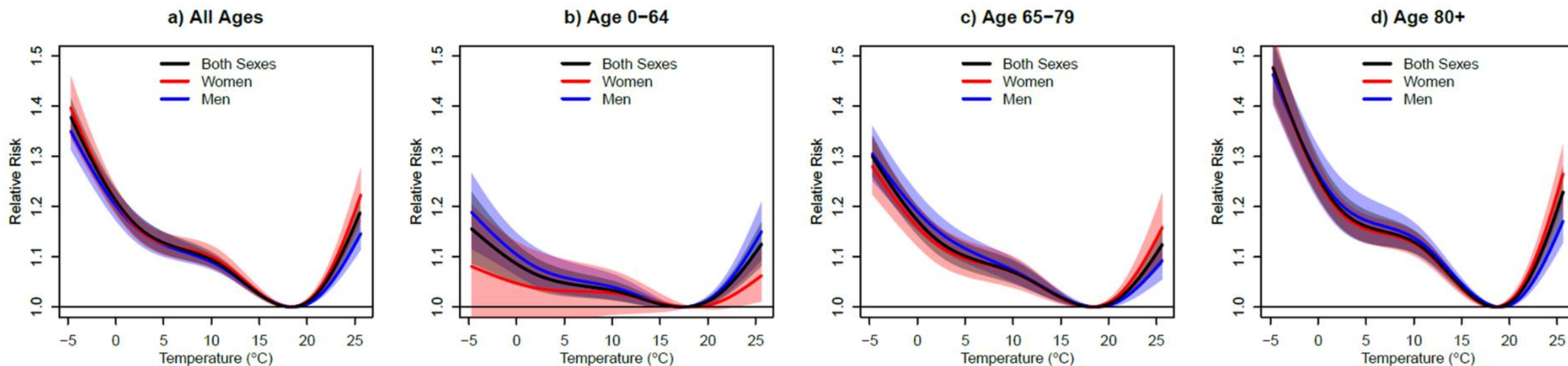
Кумулятивная зависимость смертности от температуры в Европе, 2015-2019 гг.

Received: 5 January 2023

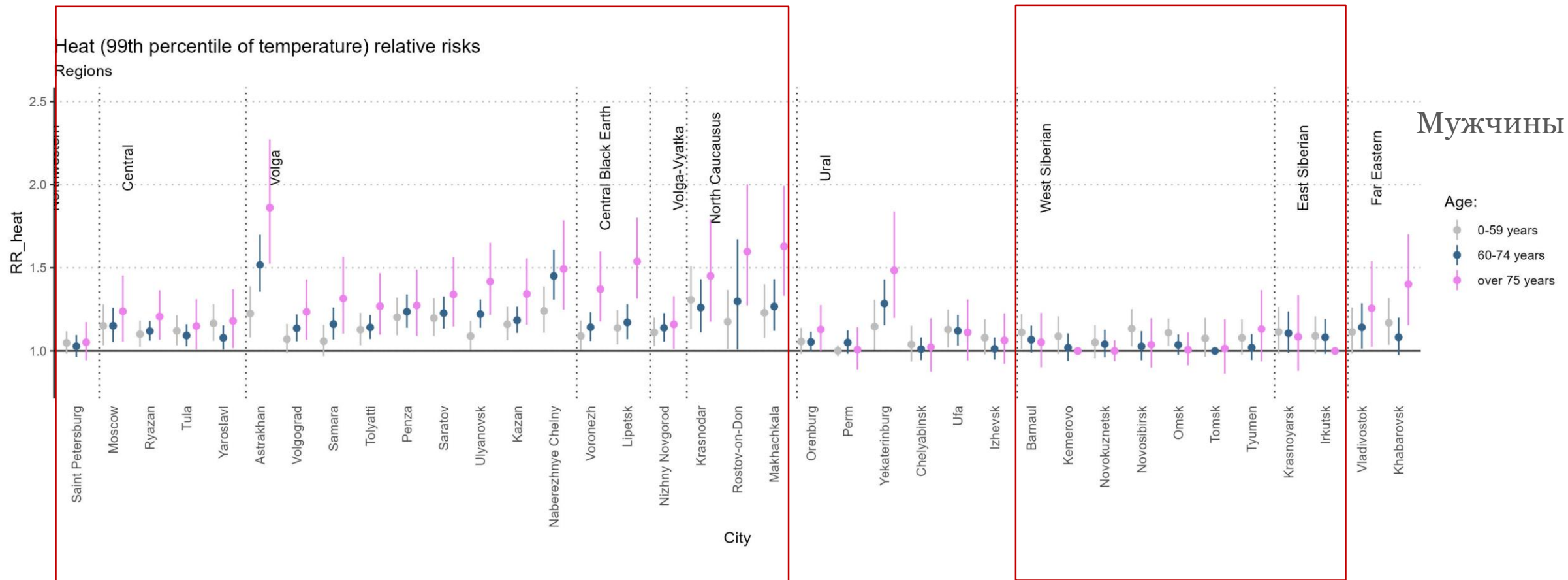
Accepted: 24 May 2023

Published online: 10 July 2023

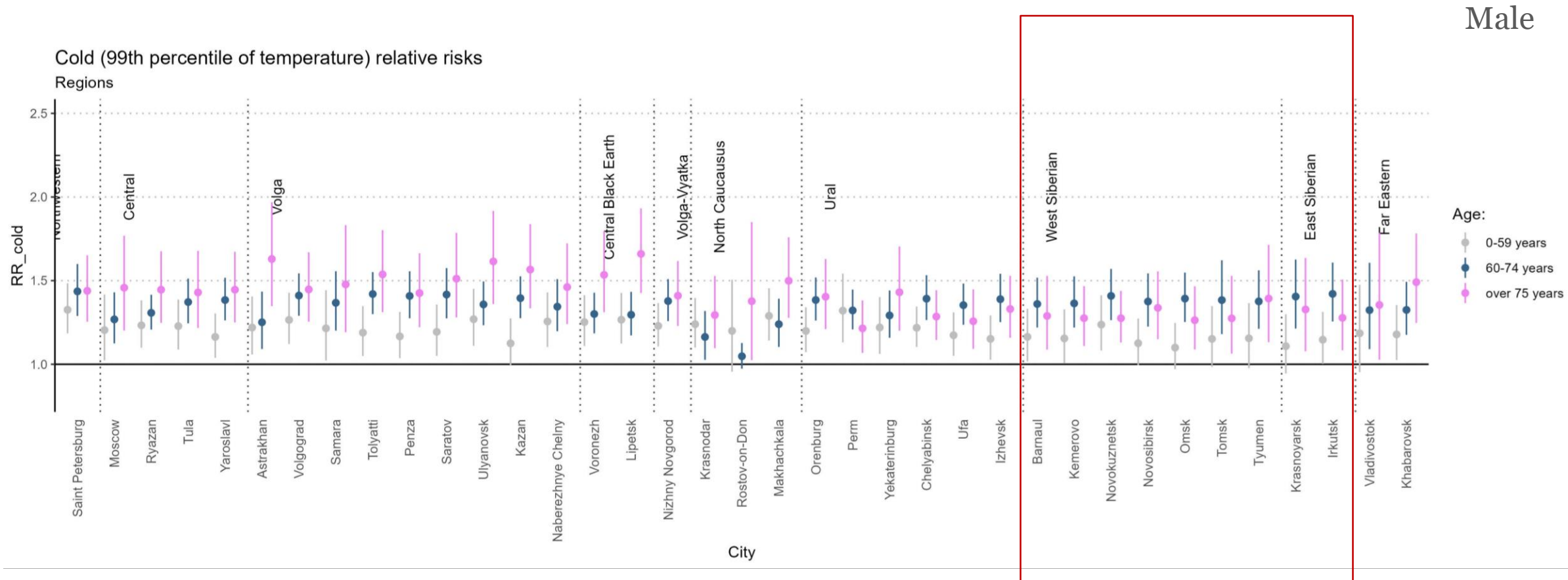
Joan Ballester¹✉, Marcos Quijal-Zamorano^{1,2},
Raúl Fernando Méndez Turrubiates¹, Ferran Pegenaute¹,
François R. Herrmann^{3,4}, Jean Marie Robine^{5,6,7}, Xavier Basagaña^{1,2,8},
Cathryn Tonne^{1,2,8}, Josep M. Antó^{1,2,8} & Hicham Achekbak^{1,9}



Сибирские города характеризуются более высоким риском смертности, связанным с жарой, среди мужчин среднего возраста (0-59 лет)



Аналогичная закономерность прослеживается и для риска смертности, связанного с холодом, но для возрастной группы 60-74 года



Заключение

Оценка избыточной смертности, обусловленной температурой, в России: 99 631 смертей, связанных с холодом (10.47%) и 6 376 смертей, связанных с жарой (0.67%) за 2000-2019 гг.

Географические закономерности: четко прослеживаются для жары, в то время как менее заметны для холода

Половозрастные различия: варьируют в зависимости от региона

Планы по адаптации к жаре и холоду: понимание того, как половозрастная уязвимость взаимодействуют с региональными различиями в состоянии здоровья, имеет решающее значение для разработки эффективных стратегий смягчения последствий и адаптации.



Articles

The differential effect of ambient temperature on age-specific and sex-specific mortality in the 300 largest cities of Russia, 2000–19: a first national time-series study

Sergey Timonin PhD ^{a b *}  , Natalia Shartova PhD ^{c *}  , Bo Wen MSc ^d, Yao Wu MSc ^d, Evgeny Andreev PhD ^e, Prof Yuming Guo PhD ^d, Joan Ballester PhD ^c

Show more 

 Add to Mendeley  Share  Cite

[https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(25\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(25)00084-1) 

[Get rights and content](#) 

Under a Creative Commons [license](#) 

 Open access

Спасибо за внимание!

natalia.shartova@isglobal.org
sergey.timonin@anu.edu.au

Acknowledgments:

Sergey Timonin, The Australian National University
Bo Wen, Yao Wu, Yuming Guo, Monash University

We gratefully acknowledge funding from the European Union's Horizon 2020 and Horizon Europe research and innovation programs under grant No 865564 (ERC Consolidator Grant EARLY-ADAPT; <https://www.early-adapt.eu/>), support from the grant CEX2023-0001290-S funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and from the Generalitat de Catalunya through the CERCA Program