

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОЙ СМЕРТНОСТИ В ПАНДЕМИЙНЫЙ ПЕРИОД В РАЗРЕЗЕ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ<sup>1</sup>

Маханькова И. В.<sup>2</sup>, Дружинин П. В.<sup>3</sup>

(Институт экономики Карельского научного центра РАН,  
Петрозаводск, Республика Карелия)

Пандемия затронула все сферы жизни во всех регионах Российской Федерации и повлияла на временное увеличение смертности населения России. Проведенные расчеты показывают, что пандемия прошла как две волны, каждая из которых состояла из трех частей с пиками высокой избыточной смертности. Цель данной статьи – на основе математических моделей вычислить избыточную смертность в разрезе федеральных округов с учетом данных последней всероссийской переписи населения, проанализировать влияние COVID-19 на избыточную смертность населения России. При расчете избыточной смертности первым методом учитывалась смертность в предыдущем периоде (2019 год), второй метод основан на расчете тенденции снижения смертности в 2019 году по сравнению с 2018 годом, третий – комбинированный статистический метод SARIMAX – учитывает тенденции смертности с 2015 года. Результатом моделирования является количественная оценка сверхсмертности в России в пандемийный период. Пандемией можно объяснить 57% избыточных смертей в 2020–2021. Составлен прогноз смертности на 2023 год в разрезе федеральных округов. Результаты могут быть учтены при разработке прогнозов социально-экономического развития России на долгосрочный период в части здоровьесбережения населения.

Ключевые слова: пандемия, общая смертность, избыточная смертность, моделирование, прогнозирование.

## 1. Введение

Смертность в Российской Федерации падала с 2005 года по 2019 год, снизившись почти на четверть, но COVID-19 прервал положительную тенденцию. Смертность резко выросла,

---

<sup>1</sup> Исследование подготовлено в рамках государственного задания N FMEN-2022-0001 на 2022 ÷ 2026 гг. «Комплексное исследование и разработка основ управления устойчивым развитием северного и приграничного поясов России в контексте глобальных вызовов».

<sup>2</sup> Ирина Владимировна Маханькова, гл. экономист (makhankova@petrsu.ru).

<sup>3</sup> Павел Васильевич Дружинин, д.э.н., доцент (pdruzhinin@mail.ru).

в 2020 году Российская Федерация оказалась среди двух стран с самой высокой избыточной смертностью [7].

Избыточная смертность (сверхсмертность) – индикатор влияния пандемии на демографическую ситуацию. Всемирная организация здравоохранения на основе данных Всемирного банка представила несколько методов оценки избыточной смертности, в зависимости от наличия ежемесячных данных о смертности от всех причин [13]. Авторы подчеркнули огромную важность наличия надежных и актуальных данных о смертности от всех причин для всех стран [14]. ВОЗ для расчетов избыточной смертности использовала разные модели для разных стран: модель на основе отрицательной биномиальной регрессии, модель Пуассона [15, 17]. Для оценки избыточной смертности в России ВОЗ использована модель отрицательной биномиальной регрессии.

В отдельных исследованиях предпринималась попытка оценить реальную смертность в пандемийный период и было показано, что средняя избыточная смертность в России существенно различается по регионам и составляет в 2020 году 47,2% [9]. Автором [4] было отмечено, что факторы, определяющие избыточную смертность в 2020 и в 2021 годах, различны, что обусловлено адаптацией общества к пандемии. В работе авторов [1] избыточная смертность в России рассчитана на основе средних данных за предыдущее пятилетие, но в таком случае смертность завышена, не учитывается сложившаяся положительная тенденция. Несмотря на рост заболевших в 2022 году, избыточная смертность снизилась, что объясняется мутацией вируса и более легким течением заболевания с минимальными осложнениями. Попытки масштабирования избыточной смертности в регионах в условиях пандемии в 2020 году проведены авторами [2].

Осенью 2023 года Росстат пересчитал численность населения регионов за период между переписями 2010, 2020 гг., и появилась возможность пересчитать избыточную смертность и оценить реальное влияние пандемии на показатели смертности [11].

Авторами [5] проанализированы различные возможные подходы к оценке избыточной смертности в мире и России,

в частности, выделены два класса моделей: неадаптивные модели, основанные на регрессионном анализе, вторые – адаптивные, в основе лежит метод скользящего окна наблюдений. Авторы отмечают, что «настоящее время ограничивает вероятность использования универсального алгоритма для всех ситуаций и вместе с тем обосновывает необходимость разработки аналитических алгоритмов, способных определять наиболее подходящую модель для каждой конкретной ситуации» [5].

Развитие современных информационных технологий позволили многим исследователям использовать алгоритмы анализа временных рядов для прогнозирования смертности, избыточной смертности. Прогнозирование смертности населения для различных стран на основе модифицированных методов Бокса – Дженкинса (ARIMA) представлены авторами [10, 16]. Авторами [18] предложена многопопуляционная модель для прогнозирования уровня смертности среди мужчин и женщин в Малайзии, Тайване, Японии, Гонконге, Австралии, США, Великобритании, Канаде и Швейцарии, основанная на методах ARIMA, ARIMA-GARCH.

В данной статье рассмотрены три различные модели оценки избыточной смертности в России в разрезе федеральных округов. Цель статьи – на основе математических моделей с учетом данных переписи населения проанализировать влияние COVID-19 на избыточную смертность населения в разрезе федеральных округов Российской Федерации.

## **2. Постановка задачи**

Для проведения расчетов использовались данные переписи населения 2020 года и демографические данные Росстата [12]. Росстат в конце 2023 года пересчитал численность населения по регионам РФ с 2012 года, и в результате исчез разрыв в динамике численности населения и некоторых других показателей. Перепись населения позволила увидеть обновленную картину по России.

На основе новых данных были пересчитаны коэффициенты смертности за 2015–2023 годы по федеральным округам, результат представлен на рис. 1. Пересчет коэффициентов прово-

дился с учетом изменений, утвержденных Указом Президента РФ от 3 ноября 2018 г. N 632 «О внесении изменений в перечень федеральных округов, утвержденный Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2000 г. N 849», внесенных в перечень федеральных округов и входящих в их состав субъектов Российской Федерации.

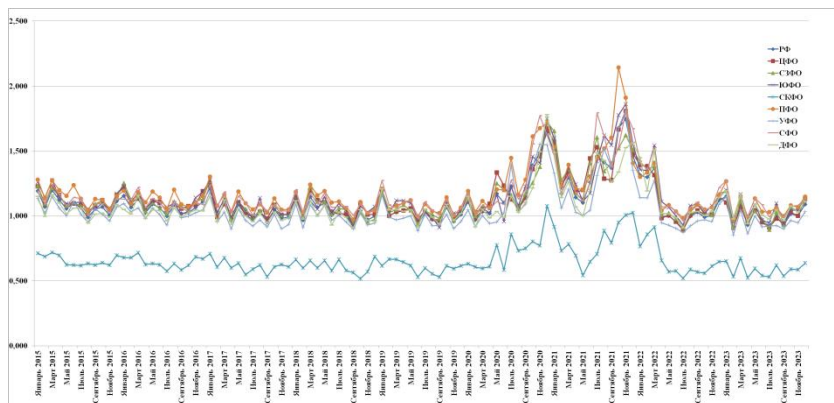


Рис. 1. Коэффициенты смертности по федеральным округам 2015–2023 гг. (на 1000 чел. с учетом ВПН-2020)

Как видно из рис. 1 в пандемию (2020–2022 гг.) наблюдается всплеск удельной смертности во всех федеральных округах России. В статье рассматриваются три года, на которые пришелся период с марта 2020 года по март 2022 года, когда наблюдается рост коэффициента смертности, который многие исследователи связывают с эпидемией COVID-19.

Избыточную смертность можно определять разными способами. Общий принцип: число смертей в пандемийный период сравнивается с числом смертей в допандемийный период. В данной работе смоделированы три различных подхода к определению избыточной смертности. Первый метод: при расчете учитываются смерти в предпандемийном году, второй метод: учитывается тенденция снижения смертности в 2019 году по сравнению с 2018 годом, третий – комбинированный метод – основан на моделировании временных рядов с помощью

SARIMAX и учитывает сложившиеся тенденции с 2015 года. Моделирование избыточной смертности проводилось по федеральным округам и по России в целом.

### 3. Моделирование избыточной смертности

#### 3.1. МЕТОД 1

Пусть  $X_{ij}$  – фактически зарегистрированное количество умерших человек за  $i$ -й период  $j$  года;  $Y_i$  – фактически зарегистрированное количество умерших человек за  $i$ -й период 2019 года;  $Z_j$  – численность населения на первое января  $j$  года (с учетом результатов ВПН-2020,  $j = 2020, 2021, 2022$ ).

Избыточная смертность  $S_{ij}$  в  $i$ -м периоде  $j$  года определялась относительно смертности 2019 года:

$$(1) S_{ij} = \frac{(X_{ij} - Y_i)}{Z_j} * 1000.$$

Избыточная смертность, смоделированная этим способом, за 36 месяцев составила примерно 1,07 млн чел. и представлена на рис. 2. По годам избыточная смертность, посчитанная данным способом, составила: в 2020 году – 323 796 человек (0,22% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года); в 2021 году – 644 826 человек (0,44% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года); в 2022 году – 105 095 человек (0,07% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года).

#### 3.2. МЕТОД 2

Пусть  $X_{ij}$  – фактически зарегистрированное количество умерших человек за  $i$ -й период  $j$  года;  $Y_i$  – фактически зарегистрированное количество умерших человек за  $i$ -й период 2019 года;  $T_i$  – фактически зарегистрированное количество умерших человек за  $i$ -й период 2018 года;  $Z_j$  – численность населения на первое января  $j$  года (с учетом результатов переписи населения, где  $j = 2020, 2021, 2022$ ).

Избыточная смертность  $S^*_{ij}$  в  $i$ -м периоде  $j$  года определялась относительно сложившейся тенденции снижения смертности в 2019 г. относительно 2018 года:

$$(2) S_{ij}^* = \frac{X_{ij} + (Y_i - T_i)}{Z_j} * 1000.$$

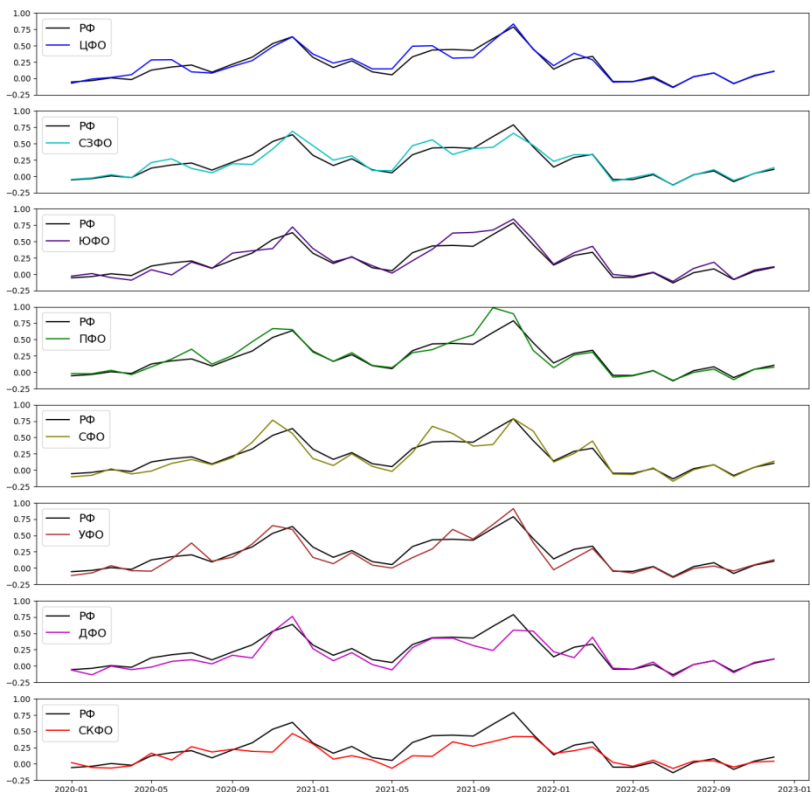


Рис. 2. Избыточная смертность в России в разрезе федеральных округов 2020–2022 гг. относительно 2019 г. на 1000 чел.

Избыточная смертность за 36 месяцев составила примерно 1,24 млн чел. относительно ожидавшейся при сохранении сложившихся тенденций, что на 0,17 млн чел. больше, чем если не учитывать сложившейся тенденции, см. рис. 3. По годам избыточная смертность, посчитанная с помощью второго метода, составила: в 2020 году – 350 956 человек (0,22% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года), в 2021 году –

699 146 человек (0,44% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года), в 2022 году – 186 575 человек (0,13% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года).

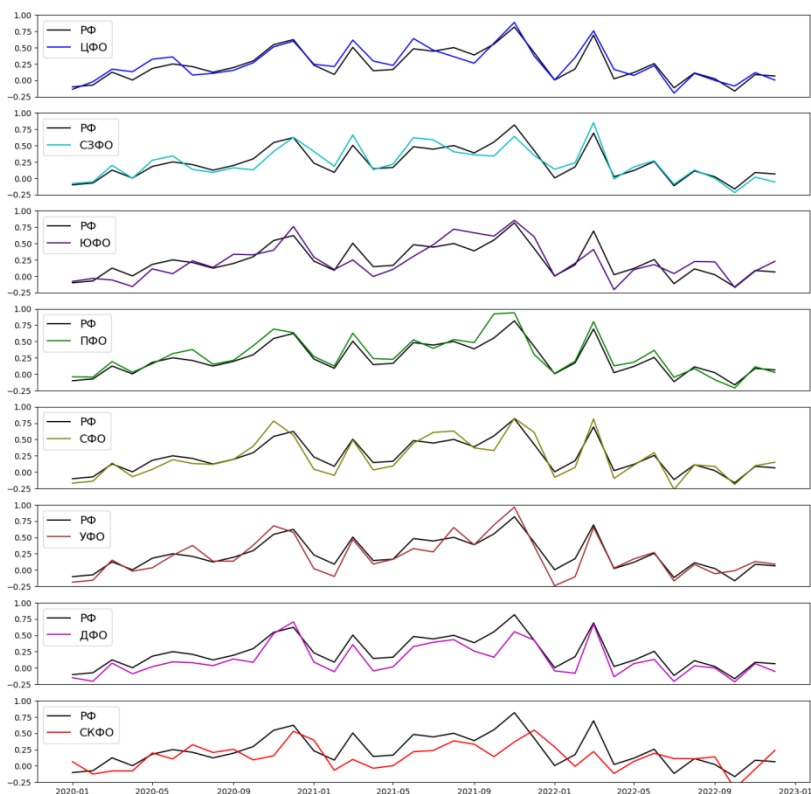


Рис. 3. Избыточная смертность в России в разрезе федеральных округов 2020–2022 гг. с учетом изменений в 2019 г. относительно 2018 г., на 1000 чел.

Смоделированная данным способом оценка избыточной смертности попадает в нижнюю границу доверительного интервала оценки избыточной смертности в России, рассчитанной Всемирной организацией здравоохранения по модели отрицательной биномиальной регрессии на основе демографических и экономических данных Всемирного банка [17].

### 3.3. МЕТОД 3

Пусть  $X_{ij}$  – фактически зарегистрированное количество умерших человек за  $i$ -й период  $j$  года;  $Z_j$  – численность населения на первое января  $j$  года (с учетом результатов переписи населения, где  $j = 2015, \dots, 2022$ );  $K_{ij}$  – коэффициент смертности, рассчитанный как отношение  $X_{ij}$  умерших человек в  $i$ -й период к общей численности населения  $Z_j$ .

$$(3) \quad K_{ij} = \frac{X_{ij}}{Z_j} * 1000.$$

Исходный временной ряд (3) не является стационарным на основании критерия Дики – Фуллера, данные гетерокедастичны;  $\hat{K}_{ij}$  – прогнозные значения ряда  $K_{ij}$ , определялись с помощью сезонной модели  $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)m$ , где  $p, d, q$  – это несезонные параметры, а  $P, D, Q$  – сезонные;  $m$  – период временного ряда/сезонность.

Общий вид модели  $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)m$ :

$$(4) \quad (1-L)^d (1-L^m)^D \hat{K}_{ij} = \mu + \frac{b(L)B(L^m)}{a(L)A(L^m)} \varepsilon_{ij},$$

где

$$a(z) = 1 - \varphi_1 z - \dots - \varphi_p z^p, \quad b(z) = 1 - \theta_1 z - \dots - \theta_q z^q,$$

$$A(z) = 1 - \varphi_1^m z - \dots - \varphi_p^m z^P, \quad b(z) = 1 - \theta_1^m z - \dots - \theta_q^m z^Q,$$

$\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p, \dots, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q, \dots$  – коэффициенты;  $L$  – оператор сдвига:

$$LK_{ij} = K_{(i-1)j},$$

$$L\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{(i-1)j},$$

$$Lconst = const;$$

$\varepsilon$  – случайная ошибка («белый шум»);  $p$  – порядок авторегрессии;  $d$  – порядок разности;  $q$  – порядок скользящего среднего;  $P$  – порядок сезонной авторегрессии;  $D$  – порядок сезонной интеграции;  $Q$  – порядок сезонного скользящего среднего;  $m$  – длина сезонного периода.

Усовершенствованная модель  $SARIMAX$  учитывает сезонность, включает экзогенные переменные, которые напрямую не учитываются моделью  $ARIMA$ . Выбранная итеративным спосо-



бом оптимальная модель  $SARIMAX(1, 1, 0)*(1, 1, 0, 12)$  показала наименьший критерий Акаике, наименьшее значение MSE и MAE, нормальность остатков модели и аппроксимировала временной ряд (3), зафиксировав сезонность, аномалии, тенденцию к снижению коэффициента смертности, что видно на рис. 4.

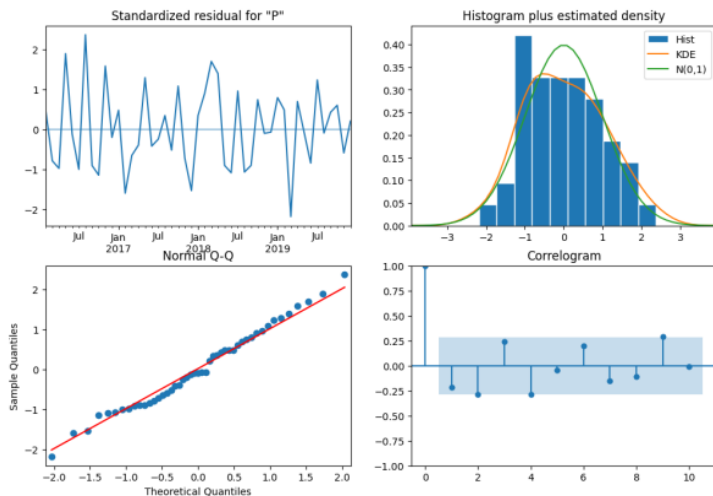


Рис. 4. Модель  $SARIMAX(1,1,0)*(1,1,0,12)$

Избыточная смертность  $S_{ij}^{**}$  в  $i$ -м периоде  $j$  сезонного цикла определялась как

$$(5) \quad S_{ij}^{**} = (K_{ij} - \hat{K}_{ij}).$$

Избыточная смертность в России, смоделированная этим способом, за 36 месяцев составила примерно 1,03 млн чел. (рис. 5). По годам избыточная смертность, посчитанная с помощью третьего метода, составила: в 2020 году – 308 041 человек (0,21% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года), в 2021 году – 630 886 человек (0,43% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года), в 2022 году – 90 209 человек (0,06% от общей численности населения РФ на 01.01.2020 года).

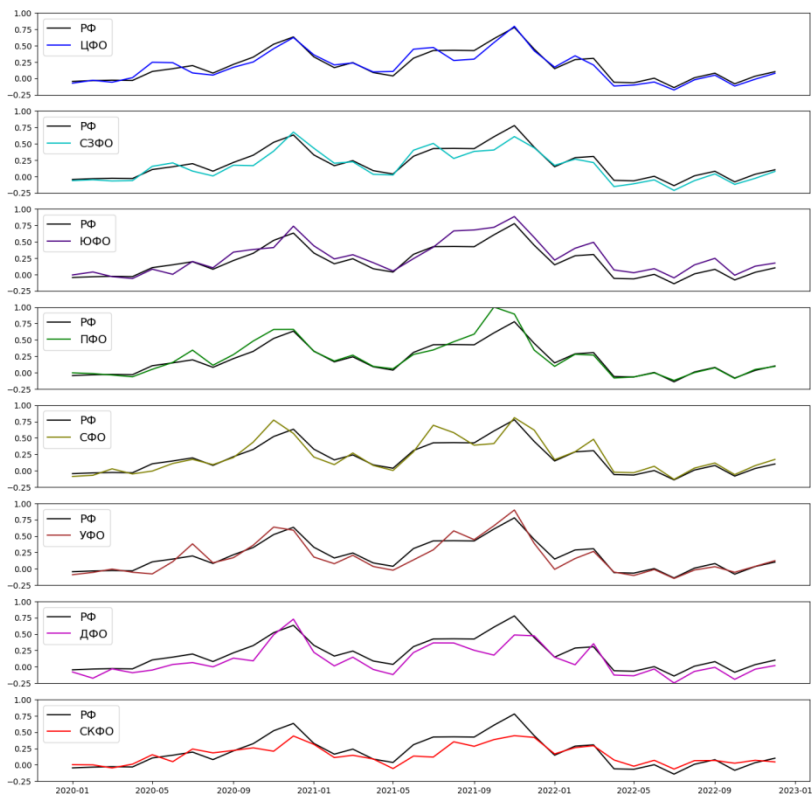


Рис. 5. Избыточная смертность в России в разрезе федеральных округов 2020–2022 гг. SARIMAX, на 1000 чел.

#### 4. Результаты и обсуждения

Временное увеличение смертности населения обычно вызывается внешними причинами – пандемией, войной, экстремальными температурами. Часть избыточной смертности в России можно списать на пандемию, на графиках четко прослеживаются несколько волн. Фактически было две волны, каждая из которых состоит из трех частей: первая и третья сравнительно небольшие и вторая – с очень высокой избыточной смертностью. Всего пиков шесть, из них четыре локальных. Пики волн у некоторых федеральных округов несколько различаются по

месяцам, что определяется их особенностями, и это смещение иногда приводит к отсутствию локального пика. Анализируя графики избыточной смертности по федеральным округам России, представленные на рис. 2, 3, 5 видно, что в мае 2020 года, 2021 года и 2022 года избыточная смертность близка к нулю во всех регионах РФ, что можно объяснить сезонной смертностью.

На всех представленных выше рисунках в 2021 году выделяется Приволжский федеральный округ. Округ терял свое население быстрее других округов в допандемийный период, сохранил «пальму первенства» среди федеральных округов по коэффициенту смертности (рис. 1) в пандемию (вместе с Южным и Сибирским федеральными округами) и удерживает ее в настоящее время. Несмотря на выгодное географическое положение, вполне привлекательный климат, концентрацию промышленных производств, отток населения увеличивается, смертность не уменьшается, рождаемость падает. Близость к ЦФО, негативная экологическая и социально-экономическая ситуация нивелируют преимущества данного округа.

В тройке лидеров по коэффициенту смертности оказался Южный федеральный округ. На всех трех моделях в Южном федеральном округе избыточная смертность в пиковые месяцы завышена. Площадь территории Южного ФО составляет 2,6% от всей территории России, на которой проживает более 11% всего населения России, ЮФО отличается разнообразием этнических групп и развитыми аграрными регионами, высокой плотностью населения. Подъемы избыточной смертности можно объяснить увеличением плотности населения, увеличением контактов населения в отпускные периоды.

Сибирский федеральный округ, обладая большими запасами природных ресурсов, важен с точки зрения экономики, но сталкивается с проблемами демографии и удаленности. Экономическая специализация сибирских регионов плюс демографические проблемы негативно отразились на избыточной смертности [8], но четкую корреляцию эпидемиологических и экономических характеристик в пандемийный период выявить не удалось [6]. Региональная промышленная политика, реализуемая в Сибирском и Дальневосточном округах, направленная на освоение месторождений природных ресурсов вахтовым мето-

дом повлияла на увеличение избыточной смертности в начале пандемии. В то же самое время территории Дальнего Востока России отличаются низкой взаимосвязью, низкой интенсивностью и динамичностью контактов населения, именно поэтому избыточная смертность населения на данных территориях практически не превышает средние значения по РФ в дальнейшем.

В Уральском федеральном округе наблюдается сдвиг избыточной смертности, так как COVID-19 затронул раньше всех регионы с самой высокой миграционной составляющей (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкие автономные округа). Но самая тяжелая ситуация наблюдается в Курганской области, которая входит в десятку регионов с наибольшим коэффициентом смертности в пандемийный период. Население Курганской области мигрирует в более «богатые» близлежащие регионы (Тюменская область, Свердловская область, большие агломерации: Тюмень, Екатеринбург, Омск), смертность растет, рождаемость снижается.

В Центральном и Северо-Западном федеральных округах наблюдается аналогичная тенденция: столицы перетягивают молодое население, а территории, расположенные близко к столицам, пустеют. В двадцатку «лидеров» по коэффициенту смертности в допандемийный период и в настоящее время в Центральном федеральном округе входят все регионы, за исключением Белгородской, Калужской и Московской областей, в Северо-Западном федеральном округе – Республика Карелия, Новгородская область, Псковская область. В регионах, приближенных к столицам, наблюдается тенденция: рост смертности с увеличением возраста. Молодежь мигрирует, старики умирают. Это можно объяснить тем, что в столицах сосредоточены лучшие технологии, доступность и лучшие условия оказания медицинской помощи больным, более образованное и молодое население. Развитие больших агломераций приводит к негативным последствиям для других частей страны [3].

Северо-Кавказский федеральный округ на фоне остальных округов выделяется наименьшими показателями избыточной смертности, которые в пандемию не превышают максимальных значений по другим федеральным округам в допандемийный период, что объясняется не только его географическим положе-

нием, но и сохранением традиционного образа жизни (экономическая зависимость женщин и сохранение института семьи), самосохранительным поведением населения. Этот федеральный округ среди всех округов России отличается самой высокой продолжительностью жизни, самой высокой рождаемостью, высокой плотностью населения.

Смещение пиков избыточной смертности в Сибирском и Уральском, Центральном ФО можно объяснить более ранним приходом пандемии на эти территории за счет миграционной составляющей.

На картину избыточной смертности повлияла не только пандемия, но и пространственная неоднородность Российской Федерации. Негативные демографические тенденции, наблюдаемые на некоторых территориях России, были усилены пандемией.

Сравнение результатов моделирования избыточной смертности с удельной смертностью от Covid-19 (на 1000 чел.) в России представлено на рис. 6.

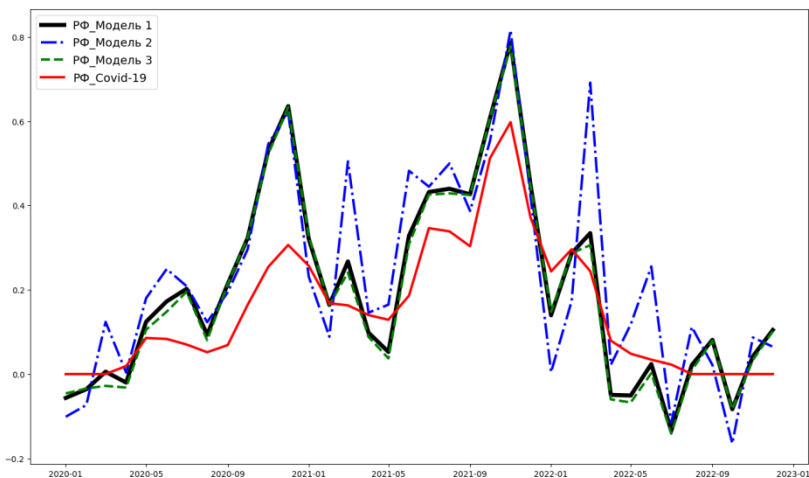


Рис. 6. Результаты расчетов избыточной смертности по трем моделям в РФ и удельная смертность от Covid-19 (по данным Росстата, на 1000 чел.) в 2020-2022 гг.

Результаты, полученные по первой и третьей моделям, практически совпадают, пиковые значения коррелируют со значениями удельной смертности от Covid-19. Необходимо оценить насколько три модели отклонились от истинных значений удельной смертности от Covid-19 в России. Используем показатель RMSE для оценки разницы между удельной смертностью от Covid-19 (истинным значением) и результатами моделирования (предсказанным значениями).

Таблица 1. Оценка результатов моделирования в сравнении с удельной смертностью от Covid-19

	Модель 1	Модель 2	Модель 3
RMSE	0,107	0,168	0,114

Значение ошибки RMSE первой модели меньше соответствующих ошибок других моделей. Из трех моделей избыточной смертности первая оказалась лучше, результат, полученный по второй модели, оказался завышенным. Пандемией можно объяснить около 30% избыточных смертей в 2020 году и до 70% в 2021 году, Covid-19 стал третьей причиной смертности в России вслед за сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями. В 2022 году влияние пандемии нивелируется, система здравоохранения адаптируется и по данным официальной статистики смертность снижается, именно это повлекло за собой отказ от подсчета показателя смертности от Covid-19 после июля 2022 года и сказалось на достоверности этого показателя в 2022 году. Удельная смертность в 2023 году ниже показателей 2015–2022 годов. Пандемия закончилась, анализ ее последствий позволит минимизировать их тяжесть, мобилизовать ресурсы и принять правильные шаги в организации системы здравоохранения. Внутренние ограничения и противоречия «центр – периферия» должны быть преодолены и не являться более сдерживающим фактором пространственного развития России.

Выбор первой и второй модели оправдан для оперативной оценки избыточной смертности. Значение ошибки RMSE первой и третьей моделей сопоставимы, но третья модель *SARIMAX* (1, 1, 0)\*(1, 1, 0, 12) позволяет сделать прогноз смертности на будущие периоды. Прогнозирование избыточной смертности –

сложная и многогранная задача, требующая совмещения различных методов и учета разнообразных факторов. Прогноз в разрезе округов РФ на 2023 год представлен в таблице 2.

Таблица 2. Смертность в сравнении с прогнозом смертности (модель SARIMAX(1, 1, 0)\*(1, 1, 0, 12)) в разрезе федеральных округов Российской Федерации на 2023 год (человек)

2023 год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	ГОД	RMSE
ЦФО_PRED	49517	42189	45062	44689	44951	41075	43405	41735	40409	45970	41610	43618	524230	
ЦФО	44326	36536	42863	38093	41925	38243	36673	39383	38016	41390	40259	45647	483354	0,103443
СЗФО_PRED	17560	15503	16494	16470	16032	14586	15885	15478	14831	16099	14667	15486	189091	
СЗФО	16529	12635	15519	13183	14368	13515	12395	14242	12911	14779	14458	15913	170447	0,138595
СФО_PRED	20747	17704	17314	18088	18326	16022	18101	17019	16386	18354	16328	17304	211694	
СФО	21140	16381	19100	16520	18926	18071	16530	17511	16468	17864	17986	18785	215282	0,077579
ЮФО_PRED	18555	15429	17125	16955	16908	14788	15975	15148	13662	16804	15492	15738	192580	
ЮФО	19948	15835	19422	16291	18085	16105	15740	18235	15641	17404	17327	18260	208293	0,101926
УФО_PRED	14150	12095	12367	12275	12675	11247	12559	11585	11443	12597	11305	11858	146156	
УФО	14077	10452	12813	10575	12259	11226	11303	11350	11036	11820	11604	12639	141154	0,070917
СКФО_PRED	5921	6006	6222	5866	5880	5003	5772	5190	4960	5407	5434	5960	67622	
СКФО	6642	5427	6885	5341	6070	5514	5404	6319	5481	6020	5979	6490	71572	0,060009
ПФО_PRED	34632	30298	32638	32285	32995	29718	31706	30186	29171	32744	29232	30597	376203	
ПФО	36318	27822	32746	28493	32539	29597	29528	30451	28628	31018	30628	32952	370720	0,062985
ДФО_PRED	10563	9436	9394	9331	9398	8343	9423	8958	8517	9718	8767	9151	111021	
ДФО	9438	7721	9203	7419	8585	7949	7704	8281	7613	8517	8130	8790	99350	0,141422

Полученные результаты и оценки позволяют считать модель SARIMAX(1, 1, 0)\*(1, 1, 0, 12) адекватной и использовать для прогнозирования исследуемого процесса – избыточной смертности/смертности в разрезе федеральных округов РФ. Прогноз для СФО, УФО, СКФО и ПФО более точен, чем для остальных федеральных округов. Результаты могут быть учтены при разработке прогнозов социально-экономического развития России на долгосрочный период в разрезе федеральных округов.

## 5. Выводы

Научный интерес представляет применение математических методов анализа временных рядов к новым областям знаний, позволяющих решать специфические задачи из области демографии и экономики. Анализ существующих моделей оценки избыточной смертности в России показал, что универсального алгоритма не существует. На данный момент актуальной остается разработка общих формальных методов оценки избыточной смертности.

Научно-практическая ценность данной работы заключается в том, что представленные модели оценки избыточной смертности в России в пандемийный период основаны на уточненных данных Росстата, позволяют достоверно оценить реальные человеческие потери в этот период по федеральным округам и России в целом. Результатом моделирования является количественная оценка сверхсмертности в России в пандемийный период. Избыточная смертность в России за период 2020-2022 годы составила 1,07 млн. чел., пандемией можно объяснить 57% избыточных смертей в 2020–2021.

В данной работе апробированы три модели построения избыточной смертности в Российской Федерации, и на основе модели  $SARIMAX(1,1,0)*(1,1,0,12)$  построен прогноз смертности на 2023 год в разрезе федеральных округов.

### Литература

1. БЛОХ А.И., ПАСЕЧНИК О.А., КРАВЧЕНКО Е.И. и др. *Подходы к оценке избыточной смертности населения в регионах РФ в период пандемии COVID-19* // Медицинский альманах. – 2022. – №1(70). – С. 57–65.
2. ГОРОШКО Н.В., ПАЦАЛА С.В., *Избыточная смертность в период пандемии COVID-19: регионы России на фоне страны* // Социально-трудовые исследования. – 2022. – №46(1). – С. 103–116.
3. ДРУЖИНИН П.В., МОРОШКИНА М.В., СЕДОВА К.Е. *Развитие агломераций и рост экономики регионов* // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2023. – №6. – С. 95–99.
4. КАШЕПОВ А.В. *Избыточная смертность населения во время пандемии COVID-19 в регионах России* // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – №9-3. – С. 352–360.
5. КРИГЕР Е.А., ПОСТОЕВ В.А., ГРЖИБОВСКИЙ А.М. *Статистические подходы к оценке избыточной смертности: обзор предметного поля на примере пандемии COVID-19* // Экология человека. – 2023. – Т. 30, №7. – С. 483–498.



6. КРЮКОВ В.А., СЕЛИВЕРСТОВ В.Е. *Пандемия коронавируса: Сибирское измерение* // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2022. – Т. 234, №2. – С. 32–53.
7. ЛИФШИЦ М.Л. *Дополнительная смертность в период пандемии COVID-19 в России и других странах* // Human Progress. – 2022. – Т. 8, №2. – С. 8.
8. ПАСТУХОВА Е.Я., МОРОЗОВА Е.А. *Избыточная смертность в сибирских регионах в условиях пандемии COVID-19: динамика и факторы влияния* // Регионоведение. – 2022. – Т. 30, №3. – С. 602–623.
9. СМИРНОВ А.Ю. *Избыточная смертность в сибирских регионах в условиях пандемии COVID-19: динамика и факторы влияния* // Народонаселение. – 2021. – Т. 24, № . – С. 76–86.
10. CARTER L.R., LEE R.D. *Modeling and forecasting US sex differentials in mortality* // Int. Journal of Forecasting. –1992. – Vol. 8, Iss. 3. – P. 393–411.
11. <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения 23.01.2025).
12. [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/EDN\\_12-2023.html](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/EDN_12-2023.html) (дата обращения 23.01.2025).
13. <https://www.who.int/publications/m/item/methods-for-estimating-the-excess-mortality-associated-with-the-covid-19-pandemic> (дата обращения 23.01.2025).
14. KARLINSKY A., KOBAK D. *Tracking excess mortality across countries during the covid-19 pandemic with the world mortality dataset* // eLife. – 2021. – Vol. 10. – P. e69336.
15. KNUTSON V., ALESHIN-GUENDEL S., KARLINSKY A. et al. *Estimating global and country-specific excess mortality during the Covid-19 pandemic* // Annals of Applied Statistics. – 2023. – Vol. 17, No. 2.
16. LI N., LEE R. *Coherent mortality forecasts for a group of populations: an extension of the Lee-Carter method* // Demography, – 2005. – Vol. 42(3). – P. 575–94.
17. MSEMBURI W., KARLINSKY A., KNUTSON V. et al. *The WHO estimates of excess mortality associated with the COVID-19 pandemic* // Nature. – 2023. – Jan; 613(7942). – P. 130–137.

18. SAMSUDIN N.S., MOHD NOR S.R. *Multi-Population O'Hare with ARIMA, ARIMA-GARCH and ANN in Forecasting Mortality Rate* // Matematika. – 2023 – Vol. 39(3). – P. 213–226.

## **MODELLING EXCESS MORTALITY DURING THE PANDEMIC PERIOD AMONG FEDERAL DISTRICTS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**Irina Makhankova**, Institute of Economics of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, Chief Economist (makhankova@petrsu.ru).

**Pavel Druzhinin**, Institute of Economics of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, professor (pdruzhinin@mail.ru).

*Abstract: The pandemic has affected all spheres of life in all regions of the Russian Federation and has had an impact on the temporary increase in mortality in Russia. The calculations show that the pandemic occurred in two waves, each consisting of three parts, with peaks of high excess mortality. The purpose of this article is to use mathematical models to calculate excess mortality by federal districts, taking into account data from the latest all-Russian population census, and to analyze the impact of COVID-19 on excess mortality in Russia. When calculating excess mortality, the first method took into account mortality in the previous period (2019), the second method is based on calculating the downward trend in mortality in 2019 compared to 2018, the third combined statistical method SARIMAX takes into account mortality trends since 2015. The result of the modeling is a quantitative assessment of excess mortality in Russia during the pandemic period. The pandemic can explain 57% of excess deaths in 2020-2021. A mortality forecast for 2023 has been compiled in the context of federal districts. The results can be taken into account when developing forecasts for the socio-economic development of Russia for the long term in terms of health protection of the population.*

**Keywords:** pandemic, total mortality, excess mortality, modeling, forecasting.

УДК 004.91 + 51-77 + 314.1 + 330.4

ББК 22.172 + 60.7 + 65.051

*Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии Р.М. Нижегородцевым.*

*Поступила в редакцию 21.08.2024.*

*Опубликована 31.01.2025.*