

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

С. А. Лаптюнок¹⁾, О. И. Родькин¹⁾, А. А. Кологривко²⁾,
Д. И. Радюк¹⁾, М. С. Конопацкая¹⁾

¹⁾ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, ул. Долгобродская, 23/1,
220070, г. Минск, Беларусь, 267413@mail.ru

²⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Беларусь

Представлены результаты оценки адекватности и эффективности моделирования и достоверности прогнозирования эпидемических процессов на основе показателей среднегодового и среднегеометрического прироста интенсивных показателей заболеваемости и с использованием преобразования данных в системе гиперболических функций.

Ключевые слова: эпидемический процесс; интенсивные показатели; адекватность моделирования; достоверность прогноза; среднегодовой прирост; среднегеометрический прирост; гиперболические функции.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MODELING AND FORECASTING THE DYNAMICS OF ECOLOGICAL AND EPIDEMIC PROCESSES USING DIFFERENT METHODS

S. A. Laptyonok¹⁾, O. I. Rodzkin¹⁾, A. A. Kologrivko²⁾,
D. I. Radyuk¹⁾, M. S. Konopatskaya¹⁾

¹⁾ International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya str., 23/1,
220070, Minsk, Belarus, 267413@mail.ru

²⁾ Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Ave., 65,
220013, Minsk, Belarus,

The results of the assessment of the adequacy and effectiveness of modeling and the reliability of forecasting epidemic processes based on the indicators of the average annual and geometric mean increase in intensive morbidity rates and using data transformation in a system of hyperbolic functions are presented.

Keywords: epidemic process; intensive indicators; adequacy of modeling; reliability of forecast; average annual growth; geometric mean growth; hyperbolic functions.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-322-326>

Заболеваемость злокачественными новообразованиями – одна из наиболее актуальных проблем, вызывающих обеспокоенность при радиационных авариях. По результатам ряда наблюдений за состоянием здоровья населения, подвергнувшегося воздействию ионизирующих излучений в результате применения ядерного оружия и ядерных аварий, одним из наиболее очевидных отдаленных эффектов облучения является рост заболеваемости злокачественными новообразованиями различной локализации [1]. В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиационному воздействию подверглась значительная часть населения Беларуси. В связи с этим с момента катастрофы в республике проводился эпиде-

миологический мониторинг онкологической заболеваемости по данным Белорусского канцер-регистра и Государственного регистра лиц, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС. Оценка результатов такого масштабного исследования невозможна без применения адекватных и эффективных методов математического анализа. Использование таких методов наряду с традиционными, стандартными методиками позволит получить дополнительную информацию для установления тенденций развития процессов и формирования обоснованных прогнозов.

На основании данных, представленных в работе [1], с применением методик, описанных в работах [1-4], в 2010 году авторами работы [5] был сформирован прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости населения Республики Беларусь раком щитовидной железы до 2020 г. Целью данного исследования явился анализ результатов моделирования и прогнозирования данного процесса с использованием данных Белорусского канцер-регистра, в частности, оценка эффективности применения гиперболических функций для анализа динамики и формирования прогноза развития реальных процессов. В качестве объекта исследования была выбрана динамика интенсивных показателей заболеваемости раком щитовидной железы, почки и молочной железы в Республике Беларусь за период с 1991 по 2023 годы.

Осуществлены пролонгация до 2030 года и сравнение прогнозов интенсивных показателей заболеваемости раком щитовидной железы, почки и молочной железы в Республике Беларусь [1; 5] с реальной динамикой, полученной из официальных источников. Результаты исследований представлены на рисунках 1-3.

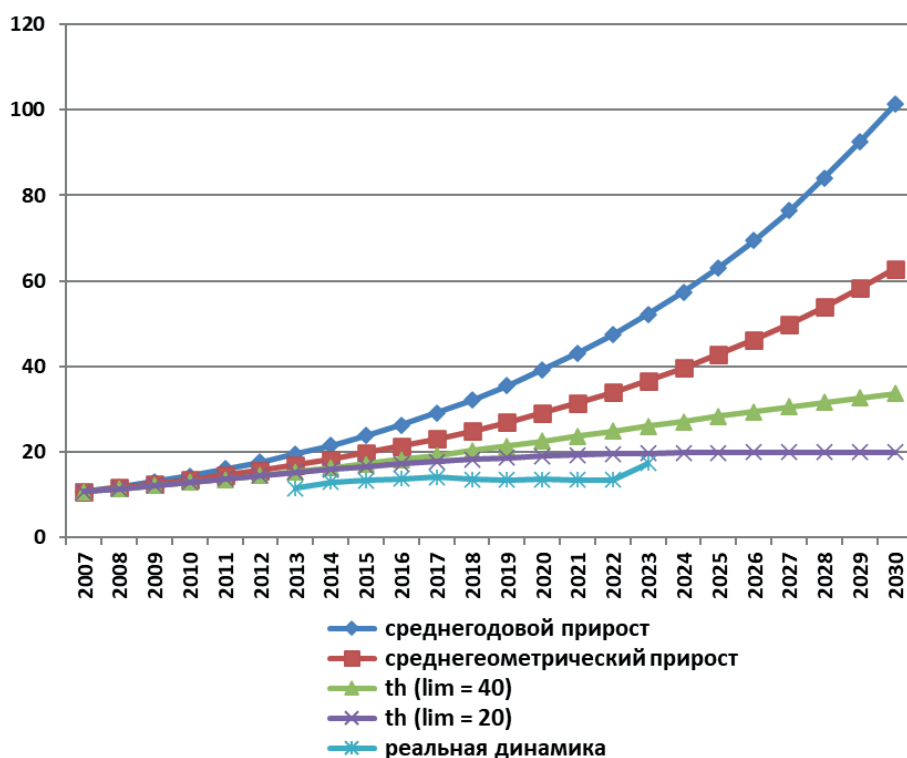


Рис. 1. Прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости раком щитовидной железы в Республике Беларусь (на 100 тысяч населения)

Как видно из рисунка 1, прогноз уровня заболеваемости раком щитовидной железы, полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем (априорным уровнем насыщения) 20 случаев на 100000 населения (th (lim=20), начальный уровень – 10,7 на 100000 населе-

ния), является наиболее адекватным и хорошо согласуется с наблюдаемыми данными в период с 2013 по 2023 гг. Кривые, построенные по результатам прогнозирования на основе среднегодового и среднегеометрического прироста, указывают на тенденцию к гиперболическому росту (см. рис. 6), что противоречит логике процесса. Кривая, представляющая прогноз, полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем 40 случаев на 100000 населения ($th(lim=40)$) демонстрирует умеренный рост, весьма близкий к линейному, с намечающейся тенденцией к насыщению.

Сопоставление результатов на рисунке 1 позволяет заключить, что прогноз, полученный с использованием метода преобразования данных в системе гиперболического тангенса, более реален. Кроме того, «осторожные» прогнозные данные позволяют повысить надежность подбора аппроксимирующих функций.

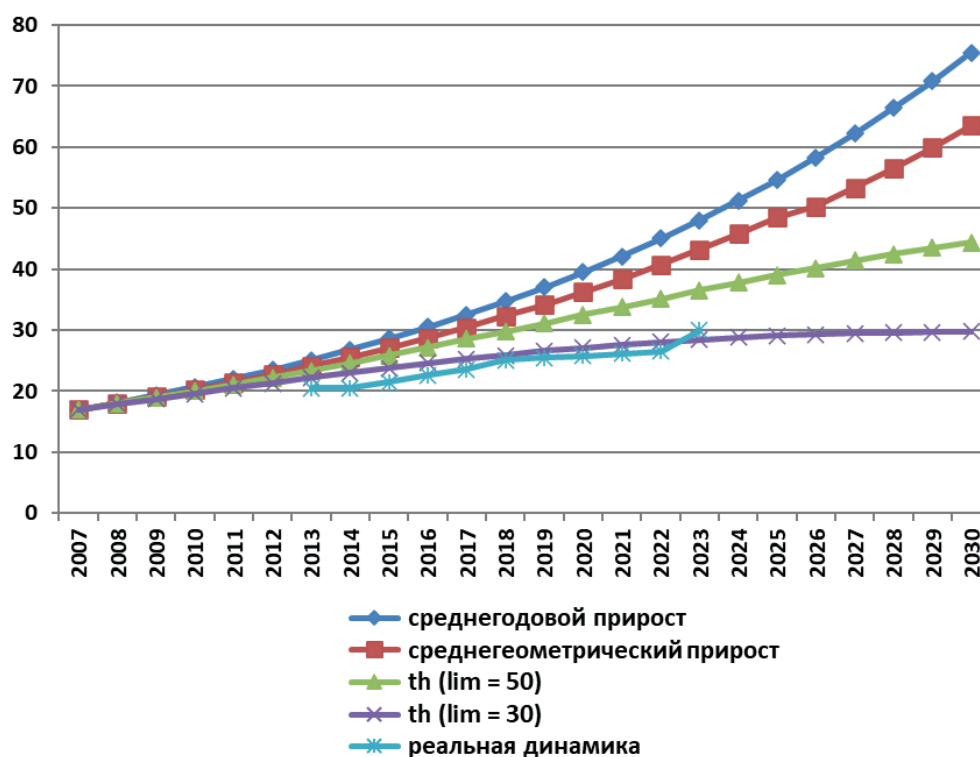


Рис. 2. Прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости раком почки в Республике Беларусь (на 100 тысяч населения)

Прогноз уровня заболеваемости раком почки (см рис. 2), полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем 30 случаев на 100000 населения ($th(lim=30)$, начальный уровень – 17,0 на 100000 населения), также является наиболее адекватным и практически совпадает с наблюдаемыми данными в период с 2013 по 2023 гг. Тенденцией к гиперболическому росту характеризуются также кривые, построенные по результатам прогнозирования на основе среднегодового и среднегеометрического прироста (см. рис. 2). Кривая, представляющая прогноз, полученный в результате использования метода преобразования данных в системе гиперболических функций с априорным финальным уровнем 50 случаев на 100000 населения ($th(lim=50)$), как и в предыдущем случае, характеризуется близким к линейному умеренным ростом с намечающейся тенденцией к насыщению.

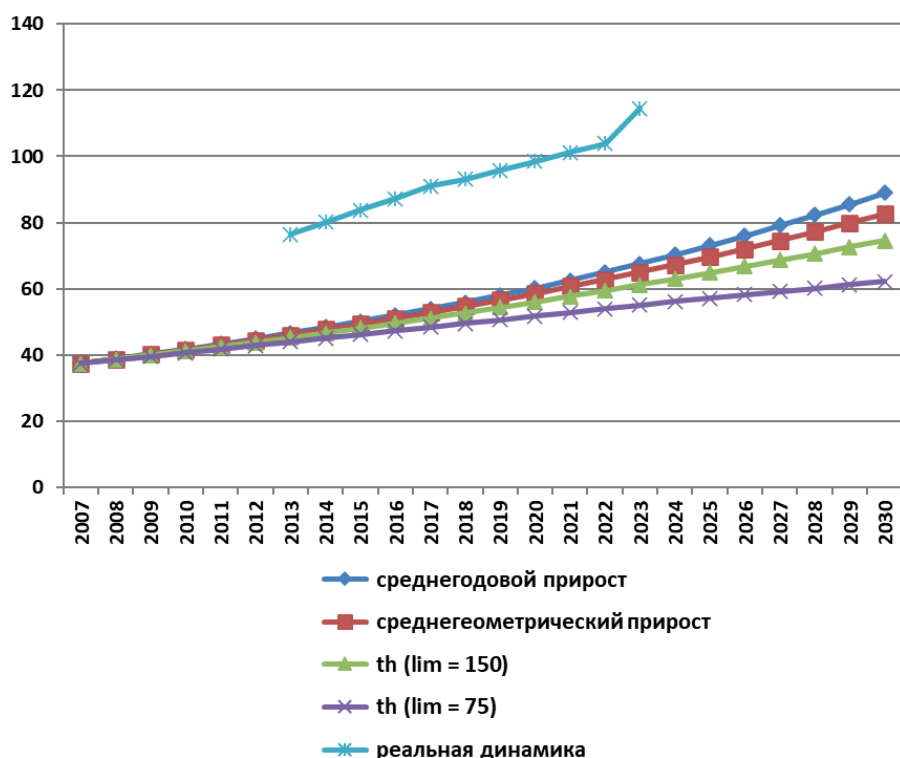


Рис. 3. Прогноз динамики интенсивного показателя заболеваемости раком молочной железы в Республике Беларусь (на 100 тысяч женского населения)

Прогнозы уровня заболеваемости раком молочной железы (см. рис. 3), полученные в результате использования всех представленных методов, продемонстрировали критическое отличие от реальной динамики эпидемического процесса. Очевидно, что в период с 2007 по 2013 гг. имело место воздействие некоторых значимых факторов, вызвавших резкий скачок уровня прироста показателя.

В целях улучшения характеристик модели и повышения адекватности прогноза уровня заболеваемости раком молочной железы осуществлялся сравнительный анализ прогнозов при различных априорных финальных уровнях показателя с реальной динамикой. В ходе исследования получены следующие результаты.

При использовании метода преобразования данных в системе гиперболических функций увеличение значения априорного финального уровня модели приводило к некоторому увеличению значений прогнозируемого показателя только в интервалах $th(lim=40) - th(lim=50)$ (40 – 50 случаев на 100000 женского населения), $th(lim=50) - th(lim=75)$ (50 – 75 на 100000), $th(lim=75) - th(lim=100)$ (75 – 100 на 100000), $th(lim=100) - th(lim=150)$ (100 – 150 на 100000) и $th(lim=150) - th(lim=200)$ (150 – 200 на 100000). При дальнейшем увеличении значения априорного финального уровня модели – $th(lim=200) - th(lim=300)$ (200 – 300 на 100000), $th(lim=300) - th(lim=400)$ (300 – 400 на 100000), $th(lim=400) - th(lim=500)$ (400 – 500 на 100000) и $th(lim=500) - th(lim=1000)$ (500 – 1000 на 100000) – увеличение значений прогнозируемого показателя не наблюдалось. Имели место флуктуации значений на достигнутом уровне, т.е., определенном уровне насыщения.

Очевидно, что для повышения адекватности и эффективности данной модели необходима модификация ее параметров и расширение исходных данных.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При моделировании и прогнозировании динамики интенсивного показателя заболеваемости населения республики Беларусь раком щитовидной железы наиболее адекватным и эффективным проявил себя метод, использующий преобразование данных в системе гипер-

болических функций. Полученный прогноз хорошо согласуется с наблюдаемыми данными реальной динамики процесса в период с 2013 по 2023 гг.

2. Наиболее адекватным и эффективным проявил себя данный метод также при моделировании и прогнозировании динамики интенсивного показателя заболеваемости населения республики Беларусь раком почки. Полученный прогноз практически совпадает с наблюдаемыми данными реальной динамики процесса в период с 2013 по 2023 гг.

3. При моделировании и прогнозировании динамики интенсивного показателя заболеваемости женского населения республики Беларусь раком молочной железы ни один из рассмотренных методов не позволил получить адекватный прогноз: результаты прогнозирования во всех случаях критически отличались от реальной динамики показателя. Модификации модели применения метода преобразования данных в системе гиперболических функций путем корректировки априорных предельных уровней не дали желаемого эффекта.

4. Для получения более адекватной динамической модели и достоверного прогноза уровня заболеваемости женского населения раком молочной железы целесообразным представляется использовать данные за более длительный период, а также оценить эффективность применения иных методов динамического моделирования и прогнозирования.

Библиографические ссылки

1. Антипова С. И., Шебеко Н. Г. Заболеваемость злокачественными новообразованиями в регионах Беларуси через 22 года после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. 2009. № 1-2. С. 3–10.

2. Шерватов В. Г. Гиперболические функции // Популярная лекция по математике, выпуск 16. / М.: Гостехиздат. 1954.

3. Янпольский А. Р. Гиперболические функции. М.: Рипол Классик. 1960.

4. Арсюткин Н. В. Материалоемкость и ресурсосбережение в национальной экономике (Республика Беларусь) : Научное издание. Мн.: Право и экономика. 2006.

5. Арсюткин Н. В., Лаптюнок С. А., Лазар И. В. Анализ и прогноз динамики процессов с использованием свойств гиперболических функций // Медико-биологические аспекты аварии на ЧАЭС. 2010. № 1-2. С. 34–37.

6. Оценка эффективности метода преобразования данных в системе гиперболических функций для изучения динамики процессов / Лаптюнок С.А. [и др.] // Научные вести. № 10. 2024. С. 50–61.