

УДК 519.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИЧ-ИНФЕКЦИИ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ: ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

© Борисов М. Н., Никитина М. Н., Плотникова Ю. К., Плынский А. А., Чанчиков А. А., 2026
Иркутский государственный университет, г. Иркутск

В статье представлены результаты применения методов математического моделирования для анализа эпидемиологической ситуации по ВИЧ-инфекции в Иркутской области за период 2023–2026 гг. На основе статистических данных регионального Центра СПИД построены модели временных рядов заболеваемости, выявлены устойчивые тренды снижения новых случаев. Проведен корреляционный анализ между показателями заболеваемости, смертности и охвата антиретровирусной терапией. С использованием методов экстраполяции выполнено прогнозирование на 2026–2028 гг. Показано, что Иркутская область демонстрирует устойчивое снижение заболеваемости (более чем на 53 % за 8 лет) при сохранении высоких позиций в рейтинге субъектов РФ. Математические модели подтверждают эффективность проводимых профилактических мероприятий и позволяют обосновать рекомендации по оптимизации ресурсного планирования в системе здравоохранения региона.

Ключевые слова: математическое моделирование, ВИЧ-инфекция, эпидемиологический прогноз, временные ряды, Иркутская область, антиретровирусная терапия, корреляционный анализ, экстраполяция

Математическое моделирование эпидемических процессов является одним из наиболее эффективных инструментов для понимания динамики распространения инфекционных заболеваний, оценки эффективности профилактических мер и планирования ресурсов здравоохранения. ВИЧ-инфекция остается одной из серьезнейших медико-социальных проблем в Российской Федерации, а Иркутская область традиционно входит в число регионов с высоким уровнем заболеваемости.

Цель настоящего исследования — на основе статистических данных регионального Центра по профилактике и борьбе со СПИД построить математические модели, описывающие динамику распространения ВИЧ-инфекции в Иркутской области, выявить основные тренды и выполнить краткосрочный прогноз.

Материалы и методы исследования

В работе использованы официальные статистические данные Центра по профилактике и

борьбе со СПИД Иркутской области за 2018–2025 годы. Применялись следующие методы:

- анализ временных рядов (скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание);
- линейная и полиномиальная регрессия для выявления трендов;
- корреляционный анализ Пирсона;
- метод экстраполяции для прогнозирования.

Обработка данных выполнена с использованием Microsoft Excel и надстройки «Пакет анализа».

Результаты моделирования

Динамика заболеваемости ВИЧ в Иркутской области (2018–2025)

На основе данных регионального Центра СПИД построен временной ряд абсолютных показателей заболеваемости. На рисунке 1 представлена динамика новых выявленных случаев ВИЧ-инфекции.

Таблица 1. Динамика новых случаев ВИЧ-инфекции в Иркутской области (2018–2025)

Год	Новые случаи (абс.)	Темп снижения к предыдущему году, %
2018	2 850 / 4 636	–
2019	2 640 / 3 120	-7,4
2020	2 310 / 1 756	-12,5
2021	2 050 / 1 857	-11,3

2022	1 870 / 1 765	-8,8
2023	1 730 / 1 730	-7,5
2024	1 760 / 1 712	+1,7
2025	1 585 / 1 540	-9,9

Через «/» указаны данные Федеральной Формы статистического наблюдения №61

Снижение числа пациентов с впервые в жизни установленным диагнозом болезни, вызванной ВИЧ в 2020 связано со снижением скрининга на ВИЧ в субъекте, вследствие COVID-19

Комментарий к диаграмме: на графике отчетливо прослеживается устойчивый нисходящий тренд с 2018 по 2025 год (за исключением незначительного роста в 2024 году, который может быть объяснен постковидным восстановлением диагностической

активности). Линия тренда описывается уравнением $y = -163,5x + 2850$, что соответствует снижению в среднем на 163,5 случая в год. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$, что свидетельствует о высокой точности линейной аппроксимации.

Динамика показателя заболеваемости на 100 тыс. населения

Для элиминации влияния изменения численности населения проведен анализ показателя заболеваемости на 100 тысяч населения (рисунок 2).

Таблица 2. Показатель заболеваемости ВИЧ в Иркутской области (на 100 тыс. населения)

Год	Показатель (на 100 тыс.)	Место в РФ
2023	73,8 / 73,8	3
2024	75,7 / 73,5	2
2025	67,01 / 66,2	2

Комментарий к диаграмме: Показатель заболеваемости снизился с 73,8 в 2023 году до 67,01 в 2025 году, что составляет снижение на 9,2 %. При этом Иркутская область сохраняет 2–3 место в Российской Федерации по данному показателю. Экстраполяция с использованием полиномиальной регрессии 2-го порядка ($R^2 = 0,94$) позволяет

прогнозировать показатель на уровне 61,5 в 2026 году и 56,8 в 2027 году.

Корреляционный анализ факторов, влияющих на заболеваемость

Проведен корреляционный анализ между основными эпидемиологическими показателями. На рисунке 3 представлена матрица корреляций.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Пирсона между ключевыми показателями

Показатели	Коэффициент корреляции (r)	Сила связи
Новые случаи — Охват АРТ	-0,87	Сильная отрицательная
Новые случаи — Смертность	+0,72	Средняя положительная
Охват АРТ — Смертность	-0,81	Сильная отрицательная
Новые случаи — Год	-0,94	Сильная отрицательная

Комментарий к диаграмме: наиболее сильная отрицательная корреляция ($r = -0,87$) выявлена между количеством новых случаев и охватом антиретровирусной терапией. Это подтверждает ключевую роль АРТ в снижении передачи инфекции. Отрицательная корреляция между охватом терапией и смертностью ($r = -0,81$)

показывает высокую эффективность лечения в сохранении жизней пациентов.

Прогнозирование

На основе данных трендовых моделей спрогнозированы основные показатели на 2026–2028 годы.

Таблица 4. Прогноз заболеваемости инфекцией в Иркутской области на 2026–2028 гг.

Показатель	2026 (прогноз)	2027 (прогноз)	2028 (прогноз)
Новые случаи (абс.)	1 420	1 260	1 100
Показатель на 100 тыс.	61,5	56,8	52,0
Охват АРТ, %	91	91,2	93,0

Комментарий к диаграмме: прогнозные значения получены методом линейной экстраполяции с учетом доверительных интервалов. Ожидается дальнейшее снижение новых случаев до 1 100 к 2028 году при одновременном росте охвата АРТ до 93 %.

Важно отметить, что модель предполагает сохранение текущих темпов профилактической работы и финансирования.

Проведенное моделирование позволяет сделать следующие выводы:

В Иркутской области с 2017 можно заметить снижение заболеваемости ВИЧ-инфекцией. За с 2018 по 2025 количество новых случаев заражения сократилось на 44,4 % (с 2 850 до 1 585). Модель линейного тренда ($R^2 = 0,89$) подтверждает, что это не случайный эффект.

Существует сильная отрицательная корреляция между охватом антиретровирусной терапией и числом новых случаев ($r = -0,87$), что показывает роль лечения как меры профилактики. Также показатель передачи инфекции от матери ребенку в регионе один из лучших в стране (0,3 %).

Вместе со снижением заболеваемости и увеличением людей, получающих лечение, наблюдается устойчивое снижение смертности от ВИЧ и СПИДа, что подтверждается отрицательной корреляцией ($r = -0,81$).

При сохранении нынешних темпов профилактики к 2028 году ожидается снижение числа новых случаев до 1 100 в год, а показателя заболеваемости — до 52 случаев на 100 тыс. населения.

Несмотря на положительную динамику, Иркутская область все еще остается в антилидерах в РФ по заболеваемости. Это показывает, что требуются продолжения и усиления профилактических мероприятий, особенно в группах риска.

Таким образом, математическое моделирование является эффективным инструментом для мониторинга эпидемической ситуации и обоснования управленческих решений в системе здравоохранения. Разработанные модели могут быть использованы для оптимизации ресурсного планирования и оценки эффективности профилактических программ. ■

8. Внедрение мобильных технологий для пациентов с ВИЧ + туберкулезом [Электронный ресурс] // ВКонтакте. — URL: http://vk.com/wall-131448501_12727 (дата обращения: 27.08.2026).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Внедрение мобильных технологий для пациентов с ВИЧ + туберкулезом [Электронный ресурс] // ВКонтакте. — URL: http://vk.com/wall-131448501_12727 (дата обращения: 27.08.2026).

Доклад эпидемиолога Центра СПИД Иркутской области, 2026 [Электронный ресурс]. — Текст: электронный.

Ермаков, В. М. Статистические методы в эпидемиологических исследованиях / В. М. Ермаков. — СПб. : Лань, 2019. — 256 с. — Текст: непосредственный.

Иркутская область — на первом месте в номинации «Лучший СПИД-Центр 2025» [Электронный ресурс] // ВКонтакте. — URL: https://vk.ru/wall-179234490_1420 (дата обращения: 27.08.2026).

Неделя профилактики употребления наркотических средств [Электронный ресурс] // ВКонтакте. — URL: http://vk.com/wall-202516311_2894 (дата обращения: 27.08.2026).

Онищенко, Г. Г. Математическое моделирование в эпидемиологии / Г. Г. Онищенко. — М. : Медицина, 2020. — 312 с. — Текст: непосредственный.

Отчет Центра по профилактике и борьбе со СПИД Иркутской области за 2018–2025 гг. [Электронный ресурс]. — Текст: электронный.

Прогнозирование распространения ВИЧ-инфекции на основе моделей временных рядов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. — 2024. — № 3. — С. 45–56. — Текст: непосредственный.

Mathematical modeling of HIV infection spread in Irkutsk region: epidemiological analysis and forecasting

© Borisov M., Chanchikov A., Nikitina M., 2026

The article presents the results of applying mathematical modeling methods to analyze the epidemiological situation of HIV infection in the Irkutsk Region for the period 2023–2026. Based on statistical data from the regional AIDS Center, time series models of morbidity are constructed, and stable trends of decline in new cases are identified. A correlation analysis between morbidity, mortality, and antiretroviral therapy coverage rates is performed. Forecasting for 2026–2028 is carried out using extrapolation methods. It is shown that the Irkutsk Region demonstrates a steady decline in morbidity (more than 53 % over 8 years) while maintaining high positions in the ranking of Russian regions. Mathematical models confirm the effectiveness of ongoing preventive measures and allow for substantiated recommendations for optimizing resource planning in the regional healthcare system.

1. Отчет Центра по профилактике и борьбе со СПИД Иркутской области за 2018–2025 гг. [Электронный ресурс]. — Текст: электронный.

2. Доклад эпидемиолога Центра СПИД Иркутской области, 2026 [Электронный ресурс]. — Текст: электронный.

3. Онищенко, Г. Г. Математическое моделирование в эпидемиологии / Г. Г. Онищенко. — М. : Медицина, 2020. — 312 с. — Текст: непосредственный.

4. Ермаков, В. М. Статистические методы в эпидемиологических исследованиях / В. М. Ермаков. — СПб. : Лань, 2019. — 256 с. — Текст: непосредственный.

5. Прогнозирование распространения ВИЧ-инфекции на основе моделей временных рядов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. — 2024. — № 3. — С. 45–56. — Текст: непосредственный.

6. Иркутская область — на первом месте в номинации «Лучший СПИД-Центр 2025» [Электронный ресурс] // ВКонтакте. — URL: https://vk.ru/wall-179234490_1420 (дата обращения: 27.08.2026).

7. Неделя профилактики употребления наркотических средств [Электронный ресурс] // ВКонтакте. — URL: http://vk.com/wall-202516311_2894 (дата обращения: 27.08.2026).

Keywords: mathematical modeling, HIV infection, epidemiological forecast, time series, Irkutsk Region, antiretroviral therapy, correlation analysis, extrapolation
