

**Алгоритмический подход к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями**А.И. Блох^{1,2}, А.Н. Летюшев³, Н.А. Пенъевская^{1,2}, Н.В. Рудаков^{1,2}¹ ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора,
пр-т Мира, д. 7, г. Омск, 644080, Российская Федерация² ФГУО ВО Омский государственный медицинский университет Минздрава,
ул. Ленина, д. 12, г. Омск, 644099, Российская Федерация³ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Минздрава России, ул. Баррикадная, д. 2/1, г. Москва, 125993, Российская Федерация**Резюме****Введение.** Обзор посвящен алгоритмическому подходу к установлению эпидемических порогов для широкого круга заболеваний, в том числе гриппа и острых респираторных инфекций.**Цель исследования:** сравнительная характеристика отечественных и зарубежных подходов к установлению эпидемических порогов для применения в системе эпидемиологического надзора.**Материалы и методы.** Для раскрытия алгоритмического подхода к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора проведено обобщение результатов 14 зарубежных научных работ и двух отечественных методических документов, опубликованных до 31.12.2023. Поиск научной литературы проведен в базах данных eLibrary, CyberLeninka, PubMed, а также с применением Google Scholar по ключевым словам «эпидемический порог» / “epidemic threshold” и «эпидемия» / “epidemic”. Проведено сопоставление отечественных и зарубежных алгоритмов установления эпидемических порогов по различным характеристикам, включая применяемый статистический метод, определение эпидемического порога в числовом значении, сложность алгоритма и возможность автоматизации расчетов.**Результаты.** Представлены классификация и сравнительные характеристики базовых алгоритмов определения эпидемических порогов, используемых в различных странах мира при осуществлении эпидемиологического надзора (в том числе синдромного). Описаны существующие способы установления и формы представления эпидемических порогов, а также последовательность шагов для выполнения алгоритмов Фаррингтона, Системы раннего выявления отклонений C1–C3, Метода движущихся эпидемий, Метода движущихся перцентилей, Многоуровневого выделения повышающейся активности по показателям с учетом смешанных эффектов, а также алгоритмов МР 3.1.2.0118–17 и МР 3.1.2.0303–22. Анализируются проблемы разработки, оценки точности и перспективы внедрения существующих и разрабатываемых алгоритмов.**Заключение.** Современные алгоритмы установления эпидемических порогов в системах эпидемиологического надзора по всему миру разнообразны, опираются на различные статистические методы, различаются по сложности. На сегодняшний день отсутствуют убедительные доказательства более высокой эффективности какого-либо алгоритма.**Ключевые слова:** эпидемиология; эпидемии; общественное здоровье, наблюдение и контроль; эпидемиологические методы; заболеваний эпидемические вспышки.**Для цитирования:** Блох А.И., Летюшев А.Н., Пенъевская Н.А., Рудаков Н.В. Алгоритмический подход к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 3. С. 54–62. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-54-62**Algorithmic Approach to Determination of Epidemic Thresholds in Infectious Disease Surveillance Systems**Alexey I. Blokh,^{1,2} Alexander N. Letyushev,³ Natalia A. Penyevskaya,^{1,2} Nikolay V. Rudakov^{1,2}¹ Omsk Research Institute of Natural Focal Infections, 7 Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation² Omsk State Medical University, 12 Lenin Street, Omsk, 644099, Russian Federation³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education,
2/1 Barrikadnaya Street, Moscow, 125993, Russian Federation**Summary****Introduction:** This review is devoted to the algorithmic approach to establishing epidemic thresholds for a wide range of diseases, including influenza and acute respiratory infections.**Objective:** To compare Russian and foreign approaches to the determination of epidemic thresholds within public health surveillance systems.**Materials and methods:** To reveal the algorithmic approach to establishing epidemic thresholds in the epidemiological surveillance system, we summarized the results of 14 foreign scientific works and two domestic method guidelines published before December 31, 2023. The literature search was conducted in the eLibrary, CyberLeninka, PubMed, and Google Scholar databases using the keywords “epidemic threshold” and “epidemic”. We compared domestic and foreign algorithms for establishing epidemic thresholds by various characteristics, including the statistical method used, determination of a numerical value of the epidemic threshold, complexity of the algorithm, and the possibility of automating calculations.**Results:** Here we discuss the classification and comparative characteristics of the basic algorithms for determining epidemic thresholds used in various countries of the world when carrying out epidemiological surveillance, including the syndromic one. We describe the existing methods for establishing and presenting epidemic thresholds, as well as the sequence of steps for performing the Farrington algorithms, the Early Aberration Detection System C1–C3, the Method of Moving Epidemics, the Method of Moving Percentiles, Multi-level identification of increasing activity by indicators taking into account mixed effects, as well as algorithms provided in Russian Method Guidelines MR 3.1.2.0118–17 and MR

3.1.2.0303–22. We also dwell on the problems of development, accuracy assessment and prospects for the implementation of existing and developed algorithms.

Conclusions: Current algorithms for establishing epidemic thresholds in epidemiological surveillance systems around the world are diverse; they rely on different statistical methods and vary in complexity. To date, there is no convincing evidence of higher efficiency of any algorithm.

Keywords: epidemiology, epidemics, public health surveillance, epidemiologic methods, disease outbreaks.

Cite as: Blokh AI, Letyushev AN, Penyevskaya NA, Rudakov NV. Algorithmic approach to determination of epidemic thresholds in infectious disease surveillance systems. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(3):54–62. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-3-54-62

Введение. Систематический сбор, анализ и распространение данных, релевантных для принятия управленческих решений в сфере общественного здоровья, составляют сущность эпидемиологического надзора [1]. На современном этапе в сферу эпидемиологического надзора включают как инфекционные, так и неинфекционные заболевания, а равно и иные, связанные со здоровьем события (травмы, отравления, рисковое поведения и проч.) [2]. Оговорим также, что традиционная форма эпидемиологического надзора опирается на использование данных клинической диагностики (установленных диагнозов), тогда как синдромный эпидемиологический надзор – на доклинические данные любого рода (например, регистрацию того или иного клинического синдрома, изменение поведения населения и пр.). В отношении инфекционной патологии система эпидемиологического надзора предназначена, среди прочего, для выявления эпидемической (вспышечной) заболеваемости для обеспечения своевременного на нее реагирования [3]. В имеющем широкое международное признание пятом издании «Эпидемиологического словаря» «эпидемия» определена как регистрация «в сообществе людей или регионе случаев болезни, связанного со здоровьем поведения или других связанных со здоровьем событий с частотой, явно превышающей нормально ожидаемую» [4]. Несмотря на относительно однородное понимание эпидемиологами всего мира термина «эпидемия», в отношении термина «вспышка» единство трактовки отсутствует: в зарубежной литературе «вспышка» обычно является менее эмоционально окрашенным синонимом термина «эпидемия» [5], тогда как в отечественной учебной и научной литературе «вспышка» рассматривается как менее выраженное, локализованное распространение инфекционного заболевания.

В большинстве стран мира и в России самым прямолинейным и понятным критерием эпидемии является (что отражено в определении) превышение нормального уровня регистрации эпидемиологически значимых событий. Подчеркнем, однако, отсутствие в научных и административно-правовых определениях четких количественных критериев, что создает определенные разночтения при отнесении фактически наблюдаемой ситуации к категории «нормально ожидаемая регистрация» или «эпидемия» («вспышка»). Наиболее распространенным способом устранения субъективности в оценке ситуации является использование так называемых

эпидемических (или мониторинговых) порогов – уровней регистрации эпидемиологически важных событий, превышение которых может указывать на развитие эпидемии (вспышки). Необходимо отметить, что прилагательное «мониторинговые» несколько лучше отражает суть порогов: как отмечали G. Shmueli и H. Burkot (2010), задача выявления эпидемии (вспышки) заболевания скорее состоит в выявлении аномалии (т.е. выявлении, что «что-то идет не так»), чем в идентификации конкретных ее особенностей (что ИМЕННО идет не так), причин и условий ее формирования [6]. Представим для примера распространение среди населения острого респираторного заболевания (ОРИ), возбудитель которого в силу различных обстоятельств не мог быть массово идентифицирован, но многие годы циркулировал в популяции. Является ли рост уровня регистрации заболевания, вызванного этим возбудителем, произошедший после расширения тестирования и этиологической расшифровки данного ОРИ, эпидемией? Очевидно, что в данном случае речь идет лишь об изменении объема наших знаний об эпидемиологической ситуации, а не изменении самой эпидемиологической ситуации.

Цель исследования: сравнительная характеристика отечественных и зарубежных алгоритмических подходов к установлению эпидемических порогов для применения в системе эпидемиологического надзора.

Материалы и методы. Для раскрытия алгоритмического подхода к установлению эпидемических порогов в системе эпидемиологического надзора проведено обобщение результатов 14 зарубежных научных работ и двух отечественных методических документов, опубликованных с 01.01.1990 по 31.12.2023. Поиск научной литературы проведен в базах данных elibrary, cyberleninka, pubmed, а также с применением google.scholar по ключевым словам «эпидемический порог» / «epidemic threshold» и «эпидемия» / «epidemic». В обзор включали статьи, в которых в достаточном объеме описан математический алгоритм, применяемый уполномоченным на проведение эпидемиологического надзора органом, либо публикации, в которых оценивали эффективность такого алгоритма. В итоговое обобщение вошли публикации, посвященные пяти базовым алгоритмам и их значимым модификациям, применяемым за рубежом ($n = 14$), а также алгоритмы, закрепленные в действующих в нашей стране методических рекомендациях МР 3.1.2.0118–17¹ и МР 3.1.2.0303–22². Проведено

¹ МР 3.1.2.0118–17 «Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28 сентября 2017 г.).

² МР 3.1.2.0303–22 «Методика расчета эпидемических порогов по заболеваемости гриппом и острыми респираторными инфекциями для проведения оперативного анализа эпидемиологической ситуации в отдельных субъектах Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 25 ноября 2022 г.).

сопоставление отечественных и зарубежных алгоритмов установления эпидемических порогов по различным характеристикам, включая применяемый статистический метод, определение эпидемического порога в числовом значении, сложность алгоритма и возможность автоматизации расчетов.

Ограничения исследования. Исследование построено как обзор литературы. Дизайн исследования предполагал сбор и анализ научной информации о применяемых в системах эпидемиологического надзора алгоритмах, однако, при отсутствии опубликованных в рецензируемых журналах или общедоступных базах данных сведений о применяемых в конкретной системе алгоритмах, такие алгоритмы не могли быть включены в обзор. Кроме того, одни и те же алгоритмы могут использоваться в разных странах под разными наименованиями и с незначительными модификациями, не затрагивающими математический метод – в таких случаях однократно указывался исходный алгоритм.

Результаты. Эпидемические пороги широко используются по всему миру в совершенно разных контекстах и условиях. Впервые количественный эпидемический порог был установлен официальным образом Британским департаментом здравоохранения в 1996 г. в отношении гриппоподобных заболеваний на уровне 400 на 100 тысяч населения за неделю [7], но четырьмя годами ранее Moore et al. в научном исследовании в Буркина Фасо установили эпидемический порог для менингококкового менингита на уровне 15 на 100 тысяч населения в среднем за 2 недели [7]. Способы установления и форма представления эпидемических порогов разнообразны. Так в руководстве по чрезвычайным ситуациям Управления Верховного комиссара ООН по делам беженцев установлен следующий стандарт эпидемических порогов для экстренных ситуаций и рутинного использования [8]:

Единственный случай – холера, корь, острый вялый паралич или полиомиелит, желтая лихорадка, вирусная геморрагическая лихорадка.

Превышение в 1,5 раза уровня за прошедшие 3 недели – малярия, водянистая диарея.

Превышение в 1,5 раза уровня за прошедшие 3 недели или 5 случаев – менингит.

Пять случаев – кровавая диарея.

Хотя точный способ установления именно таких величин не приводится, пороги установлены в отношении одновременно диагнозов и синдромов в виде абсолютных величин и предназначены для применения в любых условиях, то есть не подлежат адаптации к конкретным условиям. Вместе с тем необходимо отметить максимальную простоту подхода, который почти не требует расчетов, что может быть крайне полезным в условиях дефицита ресурсов, в периоды чрезвычайных ситуаций.

Более распространен, однако, другой подход, состоящий в использовании различных статистических алгоритмов для расчета эпидемических порогов в конкретных условиях как в рамках традиционного эпидемиологического надзора, так и синдромного эпидемиологического надзора. Чтобы оценить разнообразие существующих методов, обратимся

к классификации алгоритмов выявления эпидемий (вспышек) по статистическому методу, предложенной Unkel et al. [9]:

1. Регрессионные алгоритмы (параметрические, полу-параметрические, безпороговые);

2. Алгоритмы, основанные на методах анализа временных рядов (тренд-сезонные модели, модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего, Байсовские и скрытые цепи Маркова);

3. Алгоритмы статистического контроля качества (контрольные карты, временное сканирование, время между событиями);

4. Пространственные алгоритмы;

5. Многомерные алгоритмы.

Поскольку целью настоящего обзора является рассмотрение алгоритмов, применяемых организациями, осуществляющими эпидемиологический надзор, то остановимся лишь на нескольких актуальных алгоритмах, которые, в основном, являются одномерными и не включают пространственные методы (за небольшим исключением). Подчеркнем также, что далеко не все алгоритмы вычисляют непосредственно пороговое значение уровня регистрации заболевания (эпидемический порог), зачастую вычисляется контрольный показатель, который в том или ином виде использует понятие эпидемического порога, но не вычисляет его непосредственно (так называемые беспороговые алгоритмы).

Сравнительная характеристика применяемых в системах эпидемиологического надзора алгоритмов представлена в таблице.

Семейство алгоритмов Фаррингтона – Великобритания [3]. Впервые алгоритм был предложен командой исследователей под руководством Farrington в начале 1990-х [3], с тех пор он используется Британскими официальными органами, осуществляющими эпидемиологический надзор [3, 10]. Алгоритм был модифицирован в 2012 г. [10], а в 2021 г. предложен генерализованный вариант с географически взвешенной регрессией [11]. Алгоритм в модифицированном варианте использовался Институтом Роберта Коха с 2014 года в связи с положениями Закона о предотвращении инфекций (нем. – *Infektionsschutzgesetz*, 2001), возложившими на Институт функции осуществления эпидемиологического надзора. В целом алгоритмы Фаррингтона относятся к регрессионным по классификации Unkel et al. Отметим, что разработана R-библиотека “Surveillance”, для автоматизации расчетов [12]. Порядок расчета по алгоритму Фаррингтона [3] с модификацией [10] представлен ниже:

Базовый период: данные по неделям за календарную неделю с порядковым номером N , w предшествующих и w последующих недель за последние d лет (всего $d \cdot (2w + 1)$ периодов; как правило $5 \cdot (3 \cdot 2 + 1) = 35$). Использование смежных недель призвано решить проблему дрейфа недель и случайных колебаний заболеваемости.

Эпидемии в базовом периоде: значения корректируются с помощью стандартизованных остатков Анскомба: чем сильнее значение отличается от остальных, тем сильнее оно корректируется – тем

Таблица. Сравнительная характеристика алгоритмов, применяемых для идентификации эпидемий в системах эпидемиологического надзора в разных странах**Table. Comparative characteristics of the algorithms used for identification of epidemics in public health surveillance systems in different countries**

Характеристика / Characteristic	Алгоритм (семейство алгоритмов) / Algorithm (family of algorithms)						
	Фаррингтона / Farrington	CPBO / EARS	МВПАПСМ / RAMMIE	МДП / MPM	МДЭ / MEM	MP 3.1.2.0118–17	MP 3.1.2.0303–22
Применение в эпидемиологическом надзоре / Use in case based surveillance	Да / Yes	Да / Yes	Нет / No	Да / Yes	Да / Yes	Да / Yes	Да / Yes
Применение в синдромном надзоре / Use in syndromic surveillance	Нет / No	Да / Yes	Да / Yes	Да / Yes	Нет / No	Нет / No	Нет / No
Поднадзорное заболевание / Disease	Любое / Any	Любое / Any	Любое / Any	Любое / Any	Грипп и ОРИ / Flu and ARI	Грипп и ОРИ / Flu and ARI	Грипп и ОРИ / Flu and ARI
Период разработки / Developed in	1990-е / 1990s	1990-е / 1990s	2010-е / 2010s	2010-е / 2010s	2010-е / 2010s	2000-е / 2000s	2022
Основной статистический метод / Main statistical method	Регрессия Пуассона / Poisson regression	Статистический контроль качества / Statistical quality control	Регрессия Пуассона / Poisson regression	Метод перцентилей / Percentile method	Доверительный интервал / Confidence intervals	Доверительный интервал / Confidence intervals	Статистический контроль качества / Statistical quality control
Объем требуемых данных (не менее) / Data needed	5 лет / 5 years	8 дней, недель / 8 days, weeks	Годы / Years	Годы / Years	5 лет / 5 years	5 лет / 5 years	10 недель / 10 weeks
Вычисление эпидемического порога / Calculation of epidemic threshold	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Да, но именуется иначе / Calculated under different name	Да, но именуется иначе / Calculated under different name	Да / Yes	Да / Yes
Автоматизация / Automation	Обязательна / Mandatory	Возможна / Possible	Обязательна / Mandatory	Возможна / Possible	Обязательна / Mandatory	Возможна / Possible	Возможна / Possible
Сложность / Complexity	Высокая / High	Низкая / Low	Средняя / Moderate	Средняя / Moderate	Высокая / High	Средняя / Moderate	Низкая / Low

самым данные не теряются, но эпидемическая кривая сглаживается в сторону многолетней тенденции.

Многолетняя тенденция: для учета изменения уровня регистрации со временем используется регрессия Пуассона с чрезмерной дисперсией, с помощью которой аппроксимируют данные. В модифицированной версии не учитывается статистическая значимость тренда.

Трансформация данных: используется степенная трансформация $2/3$ для корректировки скошенности распределений (более актуально для редких заболеваний); может использоваться степенная трансформация $1/2$.

Порог: верхний прогностический интервал для среднего уровня регистрации при выбранном уровне доверия.

Логика срабатывания: расчетный показатель превышения порога больше 1.

Семейство алгоритмов Системы раннего выявления отклонений версии C1, C2, C3 (CPBO) – Соединенные штаты Америки [12]. Алгоритмы семейства CPBO разрабатывались с начала 90-х годов XX века для выявления актов биотерроризма, но впоследствии их использование расширилось [12]. Отметим, что одноименная система EARS включает и другие алгоритмы, схожие с представленными в данном обзоре [12]. Ключевым отличием семейства алгоритмов CPBO является их минимальная потребность в данных: всего лишь 7–11 предшествующих временных интервалов (дней, недель). Следует

отметить также простоту расчетов и отсутствие необходимости в использовании сложных методов корректировки разного рода явлений, влияющих на расчеты (например, сезонные эффекты пренебрежительно малы на промежутках времени менее 1–2 месяцев). Семейство алгоритмов CPBO относится к группе алгоритмов статистического контроля качества по классификации Unkel et al. Отметим, что разработана R-библиотека “Surveillance”, для автоматизации расчетов [13]. Порядок расчета:

Базовый период: используются данные за w предшествующих дней, отделенных от текущего дня разрывом в g дней. Все версии алгоритма используют по умолчанию $w = 7$, но версия C3 требует 3 последовательных значения, рассчитанные по алгоритму C2, т. е. фактически имеет базовый период $w + 2$ дней. Версия C1 не использует разрыв ($g = 0$), а версии C2 и C3 – двухдневный разрыв ($g = 2$).

Коэффициент превышения (порог не рассчитывается): рассчитывают отношение разности наблюдаемого количества и среднего количества за базовый период к стандартному отклонению, вычисленному за базовый период

Логика срабатывания, версия C1 и C2: если коэффициент превышения больше 3.

Логика срабатывания, версия C3: за три дня суммируют наибольшее из двух: разность коэффициента превышения по версии C2 и 1, либо 0. Алгоритм срабатывает, если итоговая сумма превышает 2.

Алгоритм Многоуровневого выделения повышающейся активности по показателям с учетом смешанных эффектов (МВПАПСМ) – Великобритания [14]. Один из достаточно новых алгоритмов, разработанный для использования в синдромном надзоре. Существенным отличием данного алгоритма является включение в модель корректировки праздничных и выходных дней (т. е. алгоритм относится к многомерным), в то же время расчетный метод прост – отрицательная биномиальная регрессия или регрессия Пуассона с чрезмерной дисперсией [14]. Отметим, что алгоритм использует абсолютные величины, однако, численность населения (или иной знаменатель) включается в регрессионную модель в качестве коэффициента смещения, что в значительной мере эквивалентно использованию относительных величин. В силу сферы применения алгоритм МВПАПСМ является лишь первым этапом оценки риска для общественного здоровья, тогда как второй этап состоит в оценке риска общественному здоровью специалистом-эпидемиологом [15].

Базовый период: может быть любым, но должен содержать не менее 365 отличных от 0 значений в соответствии с оригинальными рекомендациями авторов.

Порог: вычисляется с помощью множественной отрицательной биномиальной регрессии (ковариаты: 7 бинарных переменных для дня недели, 12 переменных для месяца, 3 бинарных переменных для выходных дней, праздничных дней и банковских выходных дней) как верхняя граница 95 % прогностического интервала.

Логика срабатывания: если наблюдаемое значение превышает ожидаемое более, чем на три стандартных отклонения.

Дополнительные правила: при срабатывании алгоритма на более общий индикатор и на входящий в него специальный индикатор, срабатывание считается только на специальный индикатор. При срабатывании алгоритма на внутрирегиональном уровне не менее 3 территорий и на уровне Центра общественного здоровья, ответственного за эти территории, срабатывание считается только на уровне Центра; аналогичный подход использовался на национальном уровне.

Метод движущихся перцентилей (МДП) – Китайская народная республика [16]. Специально разработанный для китайской системы автоматического предупреждения и реагирования на инфекционные заболевания (КСАПРИ) алгоритм МДП используется для расчета временных эпидемических порогов [16]. В системе КСАПРИ реализованы три способа генерации предупреждений: превышение фиксированного значения (более опасные, но редкие заболевания), превышение временного эпидемического порога и в дополнение превышение пространственного эпидемического порога (более распространенные и менее опасные заболевания). Порядок расчетов по алгоритму МДП:

Базовый период: данные по дням за текущий семидневный период, два предшествующих и два последующих семидневных периода за последние 3 года (всего 15 периодов, 105 значений).

Логика срабатывания: Алгоритм срабатывает, если наблюдаемое значение за день (С) превышает 80-й перцентиль базового периода, либо С между 50-м и 80-м перцентилем базового периода и пространственная кластеризация, либо С меньше 50-го перцентиля и С выше 10-го перцентиля (авторы указывают на двухэтапную проверку, в отличие от одноэтапной в предшествующем пункте, но причины такого подхода не разъяснены) и пространственная кластеризация.

Метод движущихся эпидемий (МДЭ) – ВОЗ [17]. Особенно широкое распространение алгоритмический подход получил применительно к эпидемиологическому надзору за гриппом и ОРВИ. Наиболее известен в этом направлении алгоритм МДЭ. Отметим, что авторами алгоритма разработана R-библиотека «мет», для автоматизации расчетов [17]. Особенностью алгоритма является использование в оригинальном варианте как абсолютных, так и относительных величин, но в дальнейшем использовались только относительные величины [17]. Кроме того, примеры использования данного алгоритма в зарубежных странах (в т. ч. имеющих иные мониторинговые алгоритмы) широко представлены в печати [18–20], а сам алгоритм упоминается в перечне стандартных алгоритмов ВОЗ для применения в надзоре за гриппом и ОРВИ [21]. В России данный алгоритм длительное время применяется преимущественно в научных целях [22]. Порядок расчета по алгоритму МДЭ:

Базовый период: данные по неделям за последние 5 и более эпидемических сезонов (т. е. период, начинающийся с минимальных уровней заболеваемости).

Эпидемии в базовом периоде: в каждом эпидемическом сезоне вычисляется минимальное количество последовательных недель с максимальным вкладом в показатель заболеваемости за сезон – эти недели считаются эпидемическими. В качестве минимального вклада используется величина от 2,0 % до 4,0 % в разных странах. В результате, сезоны разбиваются на три части: предэпидемический период, эпидемия, постэпидемический период.

Порог (базовая линия): из каждого предэпидемического периода выбирается $30 / N$ (где N – количество сезонов базового периода) недель с наибольшим уровнем регистрации, по которым затем вычисляется верхняя граница одностороннего 95 % доверительного интервала (т. е. используется доверительный коэффициент 1,64). Аналогичным образом считается базовая линия для постэпидемического периода.

Логика срабатывания: превышение базовой линии предэпидемического периода.

Уровни интенсивности: из каждого эпидемического периода выбирают $30 / N$ (где N – количество сезонов базового периода) недель с наибольшим уровнем регистрации, по которым затем вычисляется среднее геометрическое и верхние границы его 50 %, 90 % и 95 % односторонних доверительных интервалов, которые и представляют три уровня интенсивности эпидемии.

Алгоритм МР 3.1.2.0118–17³ – Российская Федерация. Алгоритм разработан для применения в надзоре за гриппом и ОРИ совместно ФБУН «НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева» Минздрава России и Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) и впервые введен в 2010 году, актуальная версия утверждена в виде МР 3.1.2.0118–17 «Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации». Существенным отличием алгоритма является использование для расчетов только показателей заболеваемости, а не количества случаев. Кроме того, в отличие от алгоритма MEM, по которому рассчитывается 5 пороговых значений (начало эпидемии, конец эпидемии и 3 уровня интенсивности) для всего эпидсезона, алгоритм МР 3.1.2.0118–17 предполагает вычисление порогового значения для каждой недели года (т. е. 52–53 пороговых значения). Ввиду возможной неполноты имеющихся данных, алгоритм реализован в виде двух вариантов – точного и приближенного:

Базовый период: данные по неделям за календарную неделю с порядковым номером N за последние 5–10 лет.

Эпидемии в базовом периоде: для исключения влияния предшествующих эпидемий (вспышек) на оценку текущей ситуации осуществляется рекурсивное удаление эпидемических недель из базового периода.

Порог: верхний толерантный предел среднего уровня регистрации при выбранном уровне доверия (точный алгоритм), верхняя граница 95 % доверительного интервала при выбранном уровне доверия (приближенный алгоритм).

Логика срабатывания: превышение эпидемического порога в совокупности с темпом прироста к прошлой неделе $> 20\%$.

Алгоритм МР 3.1.2.0303–22⁴ – Российская Федерация. Алгоритм разрабатывался в период пандемии новой коронавирусной инфекции для применения в надзоре за гриппом и ОРИ совместно Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора и ФБУН «Центральный НИИ эпидемиологии» Роспотребнадзора и прошел апробацию в 11 субъектах Российской Федерации. Алгоритм МР 3.1.2.0303–22 в целом основан на алгоритме СРВО версии С2 в связи с тем, что одними из ключевых требований к разрабатываемому алгоритму были простота и минимальная потребность в данных. В настоящее время продолжается изучение точности данного алгоритма. Порядок расчета следующий:

Базовый период: используются данные за 8 предшествующих недель, отделенных от текущей недели разрывом в 2 недели (всего 10 точек данных).

Порог: в качестве порогового значения используется верхняя граница двухстороннего 99 % доверительного интервала (доверительный коэффициент 2,54) среднего показателя заболеваемости за базовый период.

Логика срабатывания: наблюдаемое значение превышает пороговое. Дополнительно учитывается темп прироста более 20 %.

Обсуждение. Существующие сегодня в разных странах подходы, в том числе алгоритмические, к установлению эпидемических порогов для мониторинга инфекционных заболеваний в системах традиционного и синдромного эпидемиологического надзора опираются на разные статистические методы, отличаются по сложности и вовлеченности человека в работу алгоритма. Использование различных алгоритмов в разных странах на фоне существования крайне сложных для понимания и внедрения алгоритмов (эти алгоритмы не были затронуты в настоящем обзоре ввиду их исключительно научной сферы применения), в целом отражает отсутствие консенсуса по вопросам установления эпидемических порогов в научном эпидемиологическом сообществе и в среде практиков. Противоречия сводятся к удивительно точному тезису «мы должны сначала согласиться, что считать эпидемией (вспышкой)» [23].

Развитие отечественной системы эпидемиологического надзора, получившее мощный толчок во время пандемии новой коронавирусной инфекции, в соответствии с современными вызовами рано или поздно потребует более широкого внедрения алгоритмического подхода. Действующий сегодня Национальный стандарт ГОСТ Р 22.0.04-2020⁵ при оценке ситуации как эпидемии уже опирается на понятие «эпидемических порогов» – рассчитанных по отдельным нозологическим формам предельных уровней нормальной заболеваемости населения определенной территории, превышение которых свидетельствует об эпидемии. Развитие автоматизированных систем управления для сбора и анализа данных, в том числе в сфере эпидемиологического надзора, позволит не только аккумулировать необходимую информацию, но и автоматизировать процессы расчетов, не привлекая к этому процессу операторов. В то же время главной сложностью остается отсутствие утвержденного алгоритма для расчета эпидемических порогов, исключая только ОРИ и грипп. Следует отметить попытки отечественных ученых расширить сферу применения алгоритма МР 3.1.2.0118–17 на энтеровирусную (неполио) инфекцию [24] с использованием ежедневных данных и на инфекционный мононуклеоз [25] с использованием годовых данных и существен-

³ МР 3.1.2.0118–17 «Методика расчета эпидемических порогов по гриппу и острым респираторным вирусным инфекциям по субъектам Российской Федерации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28 сентября 2017 г.).

⁴ МР 3.1.2.0303–22 «Методика расчета эпидемических порогов по заболеваемости гриппом и острыми респираторными инфекциями для проведения оперативного анализа эпидемиологической ситуации в отдельных субъектах Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 25 ноября 2022 г.).

⁵ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.0.04-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 сентября 2020 г. № 643-ст).

ной модификацией алгоритма. С другой стороны, авторские коллективы предлагают собственные новые алгоритмы: так на основе среднего времени первого появления (алгоритм анализа времени до события по классификации Unkel et al.) предложена цифровая система, которая по утверждению авторов предназначена для определения момента времени с которого начинается новая волна эпидемии и предсказания дня и количества инфицированных, когда «вспышка эпидемии» (прим. – цитируется дословно!) начнет достигать своего максимума⁶, т. е. данный подход не является мониторинговым. Другой интересный алгоритм, ближе всего соответствующий группе алгоритмов статистического контроля качества по классификации Unkel et al., для расчета эпидемических порогов заболеваемости внебольничными пневмониями использует в качестве порогового значения величины третьего квартиля распределения уровней регистрации за соответствующую календарную неделю за 6 предшествующих лет [26]. В целом оба подхода опробованы в единственном регионе (Республике Марий Эл и Иркутской области соответственно) и на единственной нозологической форме (COVID-19 и внебольничные пневмонии), но в обоих случаях авторы полагают возможным использовать предложенные алгоритмы для иной патологии, а также в синдромном надзоре (только второй алгоритм), что является вполне допустимым предложением, коль скоро никаких эпидемиологических закономерностей ни один из алгоритмов не использует.

На пути к внедрению в практику эпидемиологического надзора новых или существующих алгоритмов отметим, однако, коллизию между Национальным стандартом ГОСТ Р 22.0.04–2020, устанавливающим единственный критерий эпидемии (превышение порогового уровня заболеваемости), Методическими рекомендациями МР 3.1.2.0118–17, использующими дополнительный критерий (темп прироста более 20 %), и эпидемиологической действительностью, в которой рост регистрации может быть обусловлен совершенствованием (расширением) диагностики. И вновь уместно повторить тезис «мы должны сначала согласиться, что считать эпидемией (вспышкой)» [23]. Выбор одного или нескольких способов (алгоритмов) установления эпидемических порогов для широкого круга инфекционных заболеваний зачастую и является таким соглашением. Именно такой подход не только соответствует общемировой практике, но и имплементирован в отечественные нормативно-правовые акты. Основное препятствие на этом пути состоит в том, что немногие авторы, проводившие сравнительный анализ различных алгоритмов, в том числе, описанных в настоящей работе, не приходят к единому мнению: одни утверждают преимущество конкретных алгоритмов (EARS или Farrington), другие делают заключение об отсутствии достаточно точного варианта [27–29]. Важно отметить, что сравнение алгоритмов друг с другом – тупиковый подход, поскольку отсутствует какой-либо внешний «золотой» стандарт,

на основании которого можно оценивать ситуацию. Так в упомянутых выше источниках [27–29] авторы использовали симулированные данные с заранее заложенными эпидемиями (вспышками), тогда как в случае применения реальных данных авторы воздерживаются от каких-либо суждений о точности алгоритмов, лишь приводя результаты расчетов [13]. По-видимому, каждый алгоритм имеет свои сильные и слабые стороны, отличаясь по требуемым данным и необходимым вычислительным мощностям (последнее особенно актуально с учетом размера нашей страны и большого количества административно-территориальных единиц). В то же время, автоматизированная система управления при современных вычислительных возможностях ЭВМ может включать множество алгоритмов для их сравнительной проверки.

Заключение. Таким образом, на сегодняшний день в профессиональном сообществе не достигнуто единого мнения о наиболее эффективных алгоритмах расчета эпидемических порогов, которые могут быть рекомендованы для универсального применения. Вместе с тем, в отечественной и зарубежной литературе складывается консенсус о применении метода движущихся эпидемий в области надзора за гриппом и ОРВИ.

При выборе алгоритма необходимо учитывать, что каждый из них имеет различную логику срабатывания, реагирует на разные характеристики проявлений эпидемиологического процесса, имеет значительно различающуюся сложность. Большинство применяемых за рубежом алгоритмов, в силу терминологических различий с действующими отечественными нормативными документами, не могут быть напрямую использованы для принятия управленческих решений об установлении факта эпидемии, поскольку не позволяют определять эпидемический порог в числовом значении или называют его иным образом (например, базовая линия в алгоритме МДЭ).

Совершенствование применяемых в эпидемиологическом надзоре в нашей стране алгоритмов установления эпидемических порогов возможно по трем направлениям: модификация уже принятых в отечественной практике алгоритмов, глубокая адаптация зарубежных алгоритмов, совершенствование нормативной базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Langmuir AD. The surveillance of communicable diseases of national importance. *N Engl J Med.* 1963;268:182–192. doi: 10.1056/NEJM196301242680405
2. Declich S, Carter AO. Public health surveillance: Historical origins, methods and evaluation. *Bull World Health Organ.* 1994;72(2):285–304.
3. Farrington CP, Andrews N, Beale AD, Catchpole MA. A statistical algorithm for the early detection of outbreaks of infectious disease. *J R Statist Soc A.* 1996;159(3):547–563. doi: 10.2307/2983331
4. Porta M, ed. *A Dictionary of Epidemiology*. 5th ed. New York, NY: Oxford University Press; 2008. doi: 10.1093/acref/9780195314496.001.0001

⁶ Шадрин Я.А., Мокшин А.В. Инновационный подход в управлении элементами здравоохранения при своевременном выявлении предэпидемической ситуации в регионе // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. №1. С. 261–268.

5. Martin PM, Martin-Granel E. 2,500-year evolution of the term epidemic. *Emerg Infect Dis.* 2006;12(6):976-980. doi: 10.3201/eid1206.051263
6. Shmueli G, Burkom H. Statistical challenges facing early outbreak detection in biosurveillance. *Technometrics.* 2010;52(1):39-51. doi: 10.1198/TECH.2010.06134
7. Green MS, Swartz T, Mayshar E, et al. When is an epidemic an epidemic? *Isr Med Assoc J.* 2002;4(1):3-6.
8. UN Refugee Agency. A UNHCR guide to agile, effective and community-based humanitarian emergency responses. Accessed September 20, 2023. <https://emergency.unhcr.org/>
9. Unkel S, Farrington CP, Garthwaite PH, Robertson C, Andrews N. Statistical methods for the prospective detection of infectious disease outbreaks: A review. *J R Statist Soc A.* 2012;175(1):49-82. doi: 10.1111/j.1467-985X.2011.00714.x
10. Noufaily A, Enki DG, Farrington P, Garthwaite P, Andrews N, Charlett A. An improved algorithm for outbreak detection in multiple surveillance systems. *Stat Med.* 2013;32(7):1206-1222. doi: 10.1002/sim.5595
11. Yoneoka D, Kawashima T, Makiyama K, Tanoue Y, Nomura S, Eguchi A. Geographically weighted generalized Farrington algorithm for rapid outbreak detection over short data accumulation periods. *Stat Med.* 2021;40(28):6277-6294. doi: 10.1002/sim.9182
12. Hutwagner L, Thompson W, Seeman GM, Treadwell T. The bioterrorism preparedness and response Early Aberration Reporting System (EARS). *J Urban Health.* 2003;80(2 Suppl 1):i89-96. doi: 10.1007/pl00022319
13. Salmon M, Schumacher D, Höhle M. Monitoring count time series in R: Aberration detection in public health surveillance. *J Stat Softw.* 2016;70(10):1-35. doi: 10.18637/jss.v070.i10
14. Morbey RA, Elliot AJ, Charlett A, Verlander NQ, Andrews N, Smith GE. The application of a novel 'rising activity, multi-level mixed effects, indicator emphasis' (RAMMIE) method for syndromic surveillance in England. *Bioinformatics.* 2015;31(22):3660-3665. doi: 10.1093/bioinformatics/btv418
15. Lake IR, Colón-González FJ, Barker GC, Morbey RA, Smith GE, Elliot AJ. Machine learning to refine decision making within a syndromic surveillance service. *BMC Public Health.* 2019;19(1):559. doi: 10.1186/s12889-019-6916-9
16. Yang W, Li Z, Lan Y, et al. A nationwide web-based automated system for outbreak early detection and rapid response in China. *Western Pac Surveill Response J.* 2011;2(1):10-15. doi: 10.5365/WPSAR.2010.1.1.009
17. Vega T, Lozano JE, Meerhoff T, et al. Influenza surveillance in Europe: Establishing epidemic thresholds by the moving epidemic method. *Influenza Other Respir Viruses.* 2013;7(4):546-558. doi: 10.1111/j.1750-2659.2012.00422.x
18. Biggerstaff M, Kniss K, Jernigan DB, et al. Systematic assessment of multiple routine and near real-time indicators to classify the severity of influenza seasons and pandemics in the United States, 2003-2004 through 2015-2016. *Am J Epidemiol.* 2018;187(5):1040-1050. doi: 10.1093/aje/kwx334
19. Kang M, Tan X, Ye M, Liao Y, Song T, Tang S. The moving epidemic method applied to influenza surveillance in Guangdong, China. *Int J Infect Dis.* 2021;104:594-600. doi: 10.1016/j.ijid.2021.01.058
20. Teeluck M, Samura A. Assessing the appropriateness of the Moving Epidemic Method and WHO Average Curve Method for the syndromic surveillance of acute respiratory infection in Mauritius. *PLoS ONE.* 2021;16(6):e0252703. doi: 10.1371/journal.pone.0252703
21. Global Epidemiological Surveillance Standards for Influenza. World Health Organization; 2013. Accessed September 20, 2023. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/311268/9789241506601-eng.pdf>
22. Карпова Л.С., Пелих М.Ю., Волик К.М., Поповцева Н.М., Столярова Т.П., Леонов Д.А. Оценка эффективности новых критериев раннего выявления старта и интенсивности эпидемий гриппа в Российской Федерации // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2023. Т. 22. № 6. С. 4-18. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2023-22-6-4-18>
Karpova LS, Pelikh MYu, Volik KM, Popovtseva NM, Stolyarova TP, Lioznov DA. Evaluating the effectiveness of new criteria for early detection of the start and intensity of influenza epidemics in Russian Federation. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika.* 2023;22(6):4-18 (In Russ.) doi: 10.31631/2073-3046-2023-22-6-4-18
23. Brookmeyer R, Stroup DF, eds. *Monitoring the Health of Populations: Statistical Principles and Methods for Public Health Surveillance.* New York: Oxford Academic; 2009. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195146493.001.0001
24. Фельдблюм И.В., Акимкин В.Г., Алимов А.В. и др. Новые подходы к оценке и прогнозу заболеваемости энтеровирусной (неполио) инфекцией в российской федерации с использованием математических моделей // Анализ риска здоровью. 2021. № 3. С. 108-117. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.10
Feldblum IV, Akimkin VG, Alimov AV, et al. New approaches to assessing and forecasting morbidity with enterovirus (non-polio) infection in the Russian Federation using mathematical models. *Health Risk Analysis.* 2021;(3):107-115. doi: 10.21668/health.risk/2021.3.10.eng
25. Михнева С.А., Мартынов Ю.В., Кухтевич Е.В., Гришина Ю.Ю. Инфекционный мононуклеоз: пространственно-временное проявление эпидемического процесса. Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 10 (307). С. 50-54. doi: 10.35627/2219-5238/2018-307-10-50-54
Mikhneva SA, Martinov YuV, Kukhtevich EV, Grishina YuYu. Infectious mononucleosis: A spatiotemporal manifestation of the epidemic process. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya.* 2018;(10(307)):50-54. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2018-307-10-50-54
26. Ботвинкин А.Д., Кравченко Н.А., Баянова Т.А., Хакимова М.И., Гаврилова Т.А., Лиханова Н.А. Опыт расчета эпидемических порогов заболеваемости внебольничной пневмонией // Фундаментальная и клиническая медицина. 2022. Т. 7. № 2. С. 45-55. doi: 10.23946/2500-0764-2022-7-2-45-55
Botvinkin AD, Kravchenko NA, Bayanova TA, Khakimova MI, Gavrilova TA, Likhonova NA. Calculation of epidemic thresholds for incidence of community-acquired pneumonia. *Fundamental'naya i Klinicheskaya Meditsina.* 2022;7(2):45-55. (In Russ.) doi: 10.23946/2500-0764-2022-7-2-45-55
27. Fricker RD Jr, Hegler BL, Dunfee DA. Comparing syndromic surveillance detection methods: EARS' versus a CUSUM-based methodology. *Stat Med.* 2008;27(17):3407-3429. doi: 10.1002/sim.3197
28. Bédubourg G, Le Strat Y. Evaluation and comparison of statistical methods for early temporal detection of outbreaks: A simulation-based study. *PLoS ONE.* 2017;12(7):e0181227. doi: 10.1371/journal.pone.0181227
29. Choi BY, Kim H, Go UY, Jeong JH, Lee JW. Comparison of various statistical methods for detecting disease outbreaks. *Comput Stat.* 2010;25(4):603-617. doi: 10.1007/s00180-010-0191-7

Сведения об авторах:

✉ **Блох** Алексей Игоревич – канд. мед. наук, руководитель Сибирского федерального окружного центра по профилактике и борьбе со СПИД, врач-эпидемиолог ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; e-mail: blokh_ai@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0756-2271>.

Летюшев Александр Николаевич – к.м.н., доцент кафедры организации санитарно-эпидемиологической службы ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; e-mail: kaf.orgses.rmapo@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4185-9829>.

Пеньевская Наталья Александровна – д-р мед. наук, доцент, заместитель директора по научной работе ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; e-mail: nap20052005@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7220-4366>.

Рудаков Николай Викторович – д-р мед. наук, профессор, директор ФБУН «Омский НИИ природно-очаговых инфекций» Роспотребнадзора; e-mail: mail@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9566-9214>.

Информация о вкладе авторов: концепция исследования: *Рудаков Н.В., Пеньевская Н.А.*; сбор данных: *Летюшев А.Н., Блох А.И.*; анализ и интерпретация результатов: *Рудаков Н.В.*; подготовка рукописи: *Блох А.И., Летюшев А.Н.*; переработки отдельных разделов: *Пеньевская Н.А., Рудаков Н.В.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: не применимо.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы статьи принимали участие в разработке алгоритма, утвержденного в МР 3.1.2.0303–22. Авторы декларируют отсутствие иных явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 16.10.23 / Принята к публикации: 10.03.24 / Опубликовано: 29.03.24

Author information:

✉ Alexey I. **Blokh**, Cand. Sci. (Med.), Head of the Siberian Federal District Center for AIDS Prevention and Control; epidemiologist, Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; e-mail: blokh_ai@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0756-2271>.

Aleksandr N. **Letushev**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Organization of the Sanitary and Epidemiological Service; Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; e-mail: kaf.orgses.rmapo@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4185-9829>.

Natalia A. **Penyevskaya**, Dr. Sci. (Med.), docent; Deputy Director for Research, Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; e-mail: mail@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7220-4366>.

Nikolay V. **Rudakov**, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Director, Omsk Research Institute of Natural Focal Infections; e-mail: mail@oniipi.org; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9566-9214>.

Author contributions: study conception and design: *Rudakov N.V., Penyevskaya N.A.*; data collection: *Letyushev A.N., Blokh A.I.*; analysis and interpretation of results: *Rudakov N.V.*; draft manuscript preparation: *Blokh A.I., Letyushev A.N.*; critical revision: *Penyevskaya N.A., Rudakov N.V.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors took part in the development of the algorithm adopted in Guidelines MR 3.1.2.0303–22. The authors have no other conflicts of interest to declare.

Received: October 16, 2023 / Accepted: March 10, 2024 / Published: March 29, 2024