

## МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ЭКОЛОГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИЧЕРНО- МОРСКИХ РЕГИОНОВ И ЕЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

В.В. Севриков, Г.А. Сигора, И.В. Севриков

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,  
РФ, г. Севастополь, ул. Гоголя, 14  
*E-mail: sigoral@yandex.ru*

Предлагается разграничить подходы к оценке влияния экологических и метеорологических факторов на заболевания органов дыхания населения континентальных и приморских зон. Выполнено моделирование процесса заболеваемости и выздоровления населения. Обращено внимание на социально-экономическую значимость заболеваемости населения.

**Ключевые слова:** моделирование, заболеваемость, экология, социология, экономика.

**Введение.** Здоровье детского и взрослого населения является одним из наиболее значимых социальных показателей, характеризующих уровень всестороннего развития общества, социального и духовного благополучия населения. Наиболее важным показателем здоровья является заболеваемость, которая рассматривается как характерная, официально регистрируемая реакция населения на вредное воздействие загрязнений окружающей среды [1].

Традиционно считается, что климат курортных приморских зон благоприятно влияет на лечение заболеваний органов дыхания. Поэтому ряд Крымских здравниц и специализированных лечебных учреждений расположены в причерноморских зонах. Примером тому является Ялтинская клиника им. Пирогова, которая больше специализирована на физических методах лечения органов дыхания. Ранее считалось, что морской воздух и даже брызги прибоя положительно влияют на процесс лечения дыхательных путей, поэтому шезлонги для больных выносились ближе к урезу моря. Но опыт работ этих клиник показал более благоприятное влияние на оздоровление людей сухого климата, своего пустыням.

Другой неоспоримый факт отрицательного влияния на органы дыхания – это загрязнение воздуха вредными веществами в виде пыли, паров, газов, аэрозолей. Широко известны такие заболева-

ния как воспалительные и деструктивные заболевания легких, хронические неспецифические заболевания легких, рак бронхов и легких, плеврит лиц, работающих в шахтах, на асbestовых заводах, химических и другого вида предприятиях и населения техногенно загруженных городов и районов.

Имеются две основные группы неблагоприятных факторов: экологического характера в виде пыли, газов, паров, аэрозолей, физических излучений, загрязняющих окружающую среду и, в первую очередь, воздушную среду; метеорологического характера, к которым относятся температура, относительная влажность, скорость ветра и атмосферное давление.

Очевидно, что воздух и питьевая вода в промышленных городах Донбасса несопоставимо больше загрязнены по сравнению с приморскими городами Крыма. Неоспоримо и то, что это загрязнение отрицательно влияет на состояние и здоровье людей в целом, и органы дыхания в частности.

С другой стороны, неоспорим тот факт, что метеорологические факторы существенно влияют на состояние здоровья людей, и при отклонении их от комфортных и нормальных значений возникает повышенная заболеваемость органов дыхания. Метеоусловия приморских и континентальных городов существенно отличаются и, вероятно, они оказывают различное влияние на состо-

яние здоровья людей и заболеваемость их органов дыхания.

Основными метеорологическими факторами являются: температура воздуха  $t$  в  $^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха  $\varphi$  в %; барометрическое давление воздуха  $P$  в мм.рт.ст. Для примера сопоставим приморский город Севастополь и континентальный город Донбасса Луганск. Среднегодовые метеорологические характеристики сравниваемых городов показаны в табл. 1.

Таблица 1. Среднегодовые метеорологические характеристики городов Севастополя и Луганска

Города	$t, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi, \%$	$P, \text{мм.рт.ст.}$	Норма осадков, мм
Севастополь	+12,1	78	750	379
Луганск	+8,8	69	756	503

Для Севастополя характерен климат сухой, умерено теплый, близкий к средиземноморскому. В переходный осенне-зимний и зимне-весенний периоды не редки сильные холодные ветры и штормы [2].

Для Луганска характерен степной климат, с малоснежной зимой, нередко сочетающейся с сильными метелями и частой сменой погоды, ранней весной, продолжительным жарким летом и поздней, но относительно короткой осенью.

При существенном отличии метеорологических условий сравниваемых городов более значимое влияние на заболеваемость органов дыхания оказывает разница динамики изменения метеофакторов. В Севастополе температура воздуха может различаться в 1,5–2 раза в течение дня и ночи. Период стабильности температуры с разницей  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  составляет 7–10 часов, а иногда 5–7 часов, в то время как период адаптации организма человека к изменению внешней среды – примерно 14 часов. Так же и другие метеохарактеристики не стабильны и изменяются в короткие промежутки времени.

Более того, отмеченные характеристики метеоусловий, существенно отличаются в различных местах города в одно и тоже время. Большая нестабильность характеристик в местах расположенных ближе к урезу моря и меньшая в местах удаленных от него. Город занимает большую прибрежную территорию – в пределах региона более 30 бухт.

Метеорологические характеристики для Луганска более стабильные во времени по сравнению с Севастополем и, более того, периоды их стабильности чаще совпадают с периодом адаптации организма человека к внешним условиям.

Следует полагать, что негативное влияние метеорологических факторов в Севастополе, как и в других приморских городах, при их динамической нестабильности и комплексном (синергетическом) воздействии на население, большее, чем техногенная нагрузка на окружающую среду, что и определяет повышенный уровень заболеваемости органов дыхания населения приморских зон.

Анализ статистических данных по заболеваемости населения показывает отдельные примеры, противоречащие общему пониманию того, что уровень заболевания населения приморских зон ниже уровня континентальных. Например, города Севастополя и техногенно нагруженного города Луганска по объективному относительному показателю на 100 тыс. населения. По количеству населения и автомобильного транспорта эти города сопоставимы. Однако, как показано на рис. 1, уровень заболеваемости населения г. Севастополя респираторными болезнями выше, чем в Луганской области. Более того, та же заболеваемость в Одесской области (причерноморский регион) также выше, чем в Луганской области.

Однозначного ответа на это противоречие нет. На сегодняшний день отсутствует достаточное количество комплексных исследований по данной актуальной проблеме, а это имеет огромное значение не только с медико-социальной, но и с экономической точки зрения.



Рис. 1. Заболеваемость населения Луганской, Одесской области и г. Севастополя респираторными болезнями на 100 тыс. населения

Целью данного исследования является моделирование динамики заболеваемости органов дыхания населения причерноморского региона во времени, которое является одним из этапов комплексного исследования выдвинутой актуальной народно-хозяйственной проблемы.

Для разработки математической модели, как общей заболеваемости населения, так и, в частности органов дыхания, допустимо использовать метод производных. Сущность метода заключается в том, что из условия задачи составляются приближенные соотношения между скоростями изменения функции «у» и аргумента «x». Мера скорости применима к разнообразным исследуемым процессам и физическим величинам. Она позволяет составлять математические модели в форме дифференциальных уравнений в производных [3].

Например, скорость химических реакций определяется как предел  $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ , где  $\Delta Q$  – изменение ко-

личества вещества за время  $\Delta t$ . Или скорость роста популяции, где  $\Delta u$  – изменение численности популяции за время  $\Delta t$ . По аналогии скорости прироста популяции можем записать скорость прироста заболеваемости населения

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta t},$$

где  $\Delta N$  – количество заболевших за время  $\Delta t$ .

В этом случае можно принять простое дифференциальное уравнение с коэффициентом  $k$

$$\frac{dN}{dt} = kN, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, в нашем случае параметр, характеризующий заболеваемость.

Разделив переменные и проинтегрировав выражение (1) имеем

$$\ln N = kt + C. \quad (2)$$

Потенцируя выражение (2) получаем

$$N = e^{(kt+c)} = e^c \cdot e^{kt},$$

где  $e^c$  – постоянная, характеризующая некоторое начальное число заболевших  $a$ , что особенно характерно в начальный период развития эпидемии.

Окончательная формула заболеваемости населения имеет вид

$$N = a \cdot e^{kt}. \quad (3)$$

Для наглядности понимания функциональной зависимости  $N = f(t)$ , приведенной в выражении (3), приведем ее графическое выражение, представленное на рис. 2, на примере заболеваний болезнями органов дыхания, протекающих во времени  $t$  в форме гриппа или острых респираторных вирусных инфекций (ОРВИ). Есть смысл выделить именно эти заболевания, так как они наиболее частые, массовые и скоротечные.

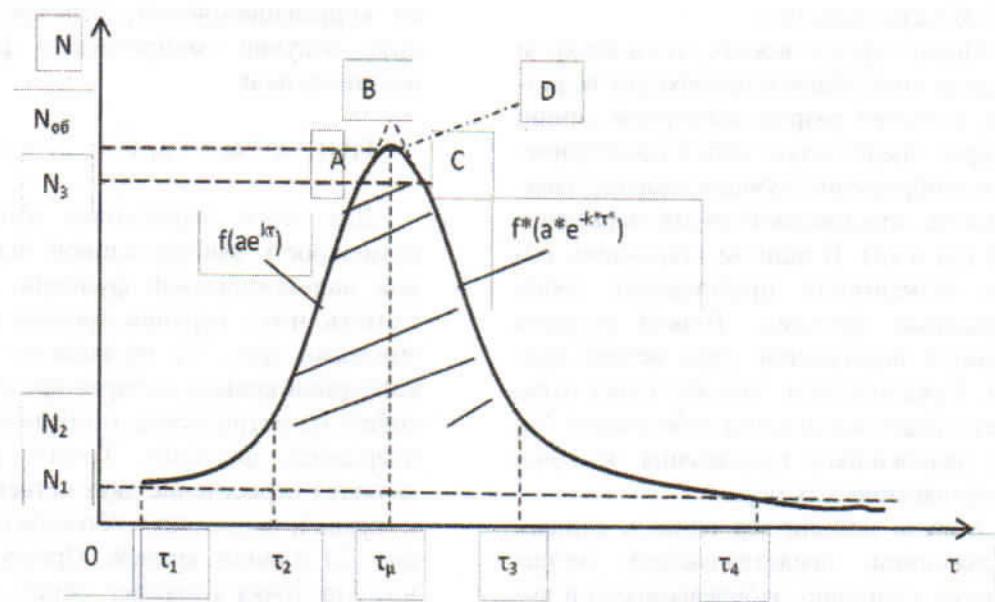


Рис. 2. Графическое изображение заболеваемости населения болезнями органов дыхания

Левая ветвь кривой характеризует рост заболеваемости  $N$  во времени  $t$ . Количество заболевших оценивается относительным показателем числа заболевших  $N$  на 10000 человек. Эта ветвь описывается выраженной возрастающей экспоненциальной зависимостью, в результате увеличения первоначального количества заболевших,  $a = N_1$  во времени  $t_1$ . С течением времени это число увеличивается и в момент времени  $t_2$  количество заболевших  $N_2$  становится равным нижнему уровню заболевших  $N_h$  (порог эпидемии) при вирусной инфекции. Интенсивность роста заболевших резко возрастает с течением времени. Кривая этого роста асимптотически приближается к оси  $u$  и в точке, соответствующей математическому ожиданию времени  $t_\mu$  достигает величины  $N_3$ , рав-

ной верхнему порогу заболеваемости  $N_h$  ( $N_3 = N_h$ ), т.е. в точке начала снижения числа заболевших при условии применения лечебно-профилактических мер или отсутствия числа заболевшего населения в зоне распространения эпидемии.

Тенденция выздоровления людей характеризуется правой ветвью кривой на рис. 2 и описывается другой функциональной зависимостью  $N^* = f^*(t^*)$  во времени  $t$ . По форме эта зависимость аналогична первой и является экспоненциальной, но с другими количественными значениями  $a^* = N_3$ , параметром распределения выздоравливающих  $k^*$  и отрицательным знаком степени « $-k^* t^*$ », означающим убывающую тенденцию функции

$$N^* = a^* \cdot e^{-k^* t^*}. \quad (4)$$

В выражениях (3) и (4) значения параметров  $k$  и  $k^*$  соответственно распределений заболеваемости и выздоровления определяются опытным путем или анализом статистических данных медицинских и специализированных государственных органов. Количественные оценки пределов нижнего и верхнего уровней  $N_2 = N_n$  и  $N_3 = N_b$  заболеваемости регламентированы государственными медицинскими органами. Заштрихованная часть на рис. 2 представляет собой область эпидемии.

Можно предположить, что в верхнем пределе этой области происходит ее разрыв, а значит разрыв контурной линии, которая представляет собой геометрическое отображение функциональной зависимости, описываемой двумя выражениями (3) и (4). В едином понимании общая зависимость представляет собой разрывные функции. Точной разрыва является пересечение двух ветвей кривой. Предполагаем, что эта точка отражает общее количество заболевших  $N_{ob}$  без дальнейшего применения лечебно-профилактических мер.

Можно попытаться описать единым выражением, представляющим непрерывную функцию, заболеваемости и выздоровления населения.

Для того чтобы выражения (3) и (4) стали рабочими необходимо знать численные значения коэффициента пропорциональности  $k$  и его зависимость во времени для различных видов и условий заболевания. Эти значения можно получить расчетным путем с использованием опытных данных предварительно выполнив преобразования выражений (3) и (4). Прологарифмировав эти выражения, получаем

$$\ln N = \ln a + kt. \quad (5)$$

Из выражения (5)

$$k = (\ln N - \ln a)/t. \quad (6)$$

Аналогичным образом получаем выражение для  $k^*$ . Подставляя опытные (статистические) данные о числе заболевших  $N$ , рассматривая период времени эпидемии или другой отчетный период, начальное число заболевших  $a$ , получаем

значения  $k$ , по которым можно построить семейство кривых или таблицу зависимости от разных признаков заболеваний и выздоровлений.

Возникает желание и целесообразность рассматривать процессы заболеваний и выздоровления как единый процесс, и описывать его одним общим математическим выражением. Это можно сделать путем аппроксимации опытных (статистических) данных по заболеваемости и выздоровлению с использованием корреляционно-регрессионного анализа, получив эмпирическую формулу полинома вида

$$P(N) = a + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n. \quad (7)$$

Для этого необходимо обосновать возможность выбора единой непрерывной полиномиальной функции. Можно считать, что в верхнем пределе области эпидемии (рис. 2) происходит разрыв контурной кривой, которая представляет собой геометрическое отображение непрерывной функции. Точной разрыва является пересечение двух ветвей (левой и правой, пунктирно обозначенных на рис. 2) единой кривой. Предполагаем, что эта точка отражает общее количество заболевших  $N_{ob}$  в случае неприменения лечебно-профилактических мер. Имеем пунктирно обозначенную область между тремя точками АВС. Значит плавная дуговая пунктирная вершина, соединяющая две верхние концевые точки А и С левой и правой ветвей единой кривой, проходит в области выделенных трех точек. Местоположение ее вершины может быть определено верхней точкой моды Д графического распределения единого процесса заболеваемости-выздоровления. Судя по характеру кривой этого процесса можно принять нормальный гауссовский закон, значение моды которого определяется по формуле

$$y_{max} = 1/\sigma\sqrt{2\pi}, \quad (8)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение единичных данных от математического ожидания (его статистической оценки среднеарифметического  $\bar{y}$ ) данного распределения. При этом погрешность не будет превышать допустимые погреш-

ности методов математической статистики. Для полноты характеристики полиномиальной кривой распределения процесса заболеваемости и выздоровления населения следует определить ее

асимметрию и остроконечность по отношению к кривой нормального распределения.

Графическое изображение кривых представлено на рис. 3 и 4.

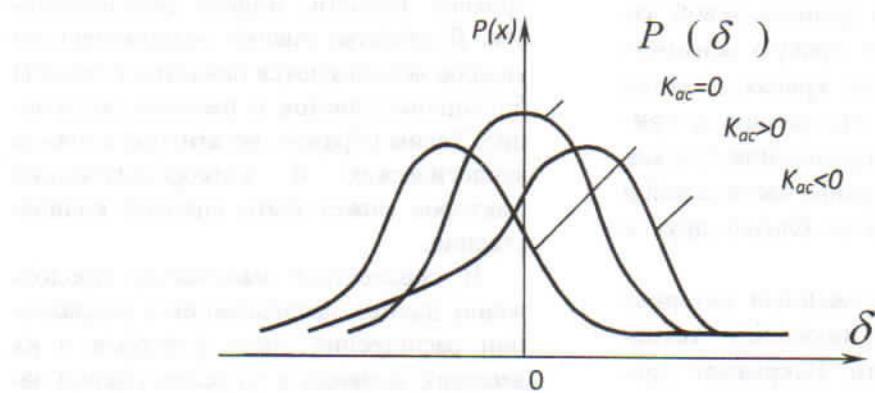


Рис. 3. Кривые распределения случайных величин  $X$  и  $\delta$ :  $K_{ac} = 0$  – симметричная кривая;  $K_{ac} > 0$  – асимметрия правая;  $K_{ac} < 0$  – асимметрия левая

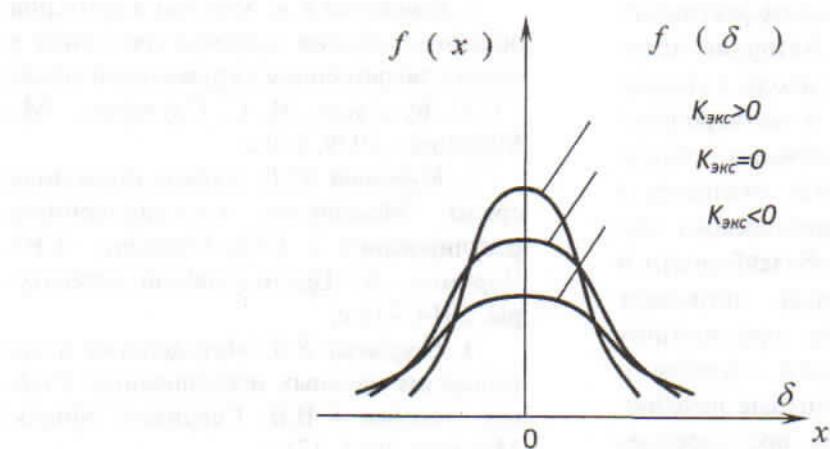


Рис. 4. Кривые распределения относительно кривой нормального распределения:  $K_{exs} = 0$  – нормальная кривая;  $K_{exs} > 0$  – кривая остроконечная;  $K_{exs} < 0$  – кривая плосковершинная

Асимметрия кривых распределения оценивается с помощью коэффициента асимметрии по выражению

$$K_{ac} = m_3/\sigma^3, \quad (9)$$

где  $m_3$  – центральный момент третьего порядка;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение. Если  $K_{ac} = 0$  кривая распределения симметрична. При  $K_{ac} > 0$  кривая с пологой частью положительных отклонений,

это есть правая асимметрия. В случае  $K_{ac} < 0$  кривая с пологой частью отрицательных отклонений, это есть левая асимметрия.

Центральный момент четвертого порядка  $m_4$  используется для оценки плосковершинности и остроконечности кривой распределения с помощью коэффициента эксцесса, который определяется по выражению

$$K_{exs} = m_4/\sigma^4 - 3. \quad (10)$$

Для нормального распределения  $K_{\text{эк}} = 0$ ; для островоршинного распределения  $K_{\text{эк}} > 0$ , а для плосковершинного  $K_{\text{эк}} < 0$ .

Поскольку правая часть кривой процесса выздоровления длиннее левой части, то кривая имеет правую асимметрию и  $K_{\text{ac}} > 0$ . Эта же кривая является островоршинной по отношению к кривой нормального распределения, так как  $K_{\text{эк}} > 0$  поскольку верхние части левой и правой ветвей сходятся близко друг к другу.

**Заключение.** Изложенный материал обостряет важность проблемы техносферной безопасности. Вскрывает противоречие традиционному, подчас неубедительно обоснованному понятию причин заболеваемости, что осложняет правильный выбор поведения населения по отношению к своему здоровью, а медицинским службам выбор эффективных профилактических мер. Авторами предлагается разграничить подходы к оценке влияния экологических и метеорологических факторов на заболевания органов дыхания населения континентальных и приморских зон. Математического моделирования процесса заболеваемости и выздоровления населения позволяет своевременно выполнять прогностические оценки медицинским службам и принимать более эффективные лечебно-профилактические меры предупрежде-

ния масштабных эпидемий. При этом следует дать социально-экономическую оценку ущерба от заболеваемости. В качестве социального ущерба используются показатели: уровень заболеваемости, уровень тяжести, индекс заболеваемости. В качестве оценки экономического ущерба используются показатели оплаты больничных листов и расходы на лечение. Таким образом, негативное влияние экологических и метеорологических факторов может быть оценено количественно.

В перспективе намечается продолжение данных исследований в направлении расширения учета факторов и их весового влияния в моделях оценки заболеваемости населения приморских зон.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буштуева К.А. Методы и критерии оценки состояния здоровья населения в связи с загрязнением окружающей среды / К.А. Буштуева, И. С. Случанко. М.: Медицина. 1979. 160 с.
2. Корчмит Ю.В. Охрана природной среды. Механизмы государственного регулирования / Ю.В. Корчмит, А.Ю. Корчмит. К.: Центр учебной литературы. 2014. 416 с.
3. Севриков В.В. Методология и организация научных исследований: учебное пособие / В.В. Севриков. Минск: Мисанта. 2011. 371 с.

## MODEL OF INFLUENCE OF ECOLOGICAL AND METEOROLOGICAL FACTORS ON MORBIDITY OF RESPIRATORY BODIES OF POPULATION OF THE BLACK SEA REGIONS AND ITS SOCIO-ECONOMIC CONSEQUENCES

V.V. Sevrikov, G.A. Sigora, I.V. Sevrikov

Sevastopol State University,  
Russian Federation, Sevastopol, Gogolya St., 14

It is proposed to distinguish between the approaches to assessing the impact of ecological and meteorological factors on respiratory diseases of the population a continuation of continental and coastal zones. The modeling of the process of disease and recovery of the population. Attention is paid to the socio-economic significance of the incidence of the population.

**Keywords:** modeling, disease, ecology, sociology, economics.