



УДК 616.248-053.2-02:576,8.097.2

Э.А.Доценко, И.М.Прищепа, Д.К.Новиков,
И.Н.Фетисов, Ю.В.Пчельников

Влияние погодно-климатических факторов на характер течения бронхиальной астмы

По современным представлениям бронхиальная астма **/БА/** является экологически обусловленным заболеванием, течение которого определяется состоянием внешней среды. К числу триггерных стимулов относятся погодные факторы, хотя характер и роль отдельных метеорологических элементов дискутируется. Это обусловлено отсутствием закономерностей, связывающих течение **БА** и первичные погодные показатели. Поэтому принцип нашего метода основан на выделении групп показателей, близких по физическому смыслу с последующим регрессионным выравниванием динамических рядов. Конечным этапом этого является построение "псевдопогодных" или вторичных факторов: **Т** /температурный/, **Вл** /влажность/, **Д** /давление/, **В** /ветер/, **И** /искусственные/. Оценивая силу влияния первичных погодных показателей на вторичный фактор /методом дисперсионного анализа/, мы можем придать ему физический смысл. **Т**: весна, осень, год – разница между максимальной и минимальной температурами **/X8/**; лето – средняя температура воздуха **/X1/**; зима – модуль градиента средней температуры **/X4/**. **Вл**: зима, весна, лето, год – средняя относительная влажность **/X18/**; осень – градиент средней влажности **/X20/**. **Д**: зима, осень, весна, год – абсолютное атмосферное давление **/X24/**; лето – градиент атмосферного давления **/25/**. **В**: весна, осень, лето, год – скорость ветра **/X19/**; зима – направление ветра **/X28/**. **И**: зима, весна, осень – жесткость погоды; лето – индекс патогенности ветра **/X30/**; год – жесткость погоды, индекс патогенности ветра **/X23/** и **/X30/**.

Целью настоящей работы было построение математической модели "обострение **БА** – погодные условия", расшифровка физического смысла таких моделей и оценка климатического оптимума для больных **БА**.

Рассмотрим регрессионные модели, описывающие обострения **БА** в зависимости от погодно-климатических условий в общей популяции. Мы посчитали целесообразным исключить из рассмотрения годичный интервал: годичная модель не улучшает прогностичность; ключевые факторы такие же, как и в сезонных моделях. В среднем, единственный фактор объясняет частоту обострений на 85-90%, причем максимальные коэффициенты детерминации проявляются тогда, когда этим фактором является давление /весна, лето – 90,9% и 92,2% соответственно/. В этих сезонах статистически достоверна сила влияния только двух факторов, представляющих комбинацию из вторичных показателей давления, — влажности и

температуры. Оставшиеся факторы – **В** и **И** – достоверно не влияют на обострение **БА**.

Обращает внимание одно теоретическое обстоятельство, позволяющее сделать любопытное предположение. Уравнение регрессии включает в себя свободный член, величина которого может приближаться к нулю. Для простой регрессии Y зависит от X / близость свободного члена к нулю означает, что прямая зависимости проходит через начало координат и, следовательно, есть такие значения X , при которых Y равен нулю /при условии физической возможности/. Используемый нами статистический пакет по желанию пользователя предусматривает два варианта построения уравнения множественной регрессии: со свободным членом регрессии и без него. Оказалось, что во всех вариантах регрессионных моделей введение в уравнение свободного члена приводило к резкому снижению коэффициентов детерминации. Следовательно, теоретическая гиперплоскость всегда проходит через начало многомерной оси координат. Иными словами, при определенном сочетании вторичных факторов выходной параметр /а это частота обострений/ будет близок нулю. Можно предположить, что существуют определенные экологически благоприятные условия, при которых число обострений **БА** будет минимально. Это теоретическая посылка имеет некоторые клинико-экспериментальные подтверждения, например, смена климатической зоны проживания может приводить к исчезновению /ослаблению/ приступов удушья. Нам представляются весьма перспективными поиски именно в этом направлении.

ВЕСНА. Основным фактором, влияющим на частоту обострений **БА**, является давление. Он объясняет дисперсию признака Y на 90,8%. Среди используемых для построения данного вторичного фактора первичных показателей атмосферного давления единственный /абсолютная величина атмосферного давления, **X24**/ объясняет дисперсию вторичного фактора на 99,2%, что позволяет остальным пренебречь /происходит потеря точности модели, но улучшится ее логическое восприятие/. Новое уравнение приобретет вид:

$$Y = 0,022 * X24 \quad /1/$$

где Y – число вызовов.

Следовательно, рост числа вызовов будет происходить при повышении атмосферного давления. Существует "базальный уровень" обострений, то есть обострений, которые имеются постоянно и не зависят от погодных факторов; мы приняли его равным среднедневному числу обращений за экстренной медицинской помощью. Для весны – 16,9 вызовов в день /стандартное отклонение – 5,3/. Указанной величине соответствует атмосферное давление 768,2 мм.рт.ст. /уравнение 1/; вероятно, его можно считать оптимальным для больных **БА** весной. Однако, оказывается, что размах колебаний атмосферного давления в изучаемый период составил от 760,0 мм рт.ст. до 728 мм рт.ст.: максимальному давлению соответствует число вызовов 16,7, а росту обострений до 20 – 909,1 мм рт.ст. Следовательно, формула не применима к реальным условиям. Необходим учет и второго фактора, включаемого в регрессионную модель на втором шаге. На 99,9% дисперсию вторичного фактора "влажность" объясняет единственный первичный, средняя относительная влажность $X18$ /. Мы можем попытаться заменить фактор давления первичным показателем **X24**, а фактор влажности – **X18**. Уравнение приобретет вид:

$$Y = 0,014 * X_{24} + 0,089 * X_{18} \quad /2/$$

где Y — число обострений.

Если мы примем за Y базальный уровень вызовов по **БА**, то сможем получить оптимальные сочетания атмосферного давления и относительной влажности /для больных **БА**/.

$$X_{24} = 12,07 - 6,4 * X_{18} \quad /3/$$

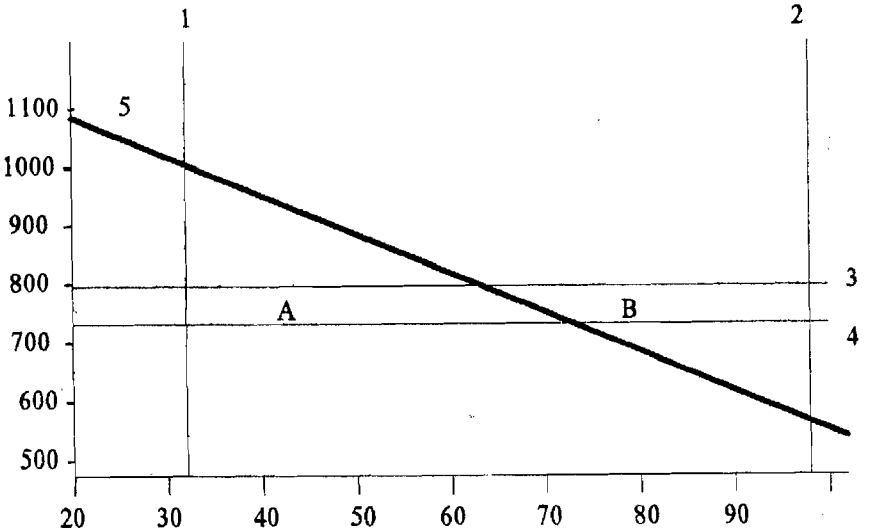


Рис. 1. Весна. Благоприятные и неблагоприятные сочетания атмосферного давления и относительной влажности. По оси абсцисс — относительная влажность (%), по оси ординат — атмосферное давление (мм.рт.ст.); 1, 2 — минимальные и максимальные значения относительной влажности в весенний сезон; 3, 4 — минимальное и максимальное значение атмосферного давления в весеннем сезоне; 5 — граница благоприятных и неблагоприятных сочетаний погодных факторов; А — благоприятная зона; В — неблагоприятная зона.

На рис. 1 область достигаемых в указанный сезон значений атмосферного давления и относительной влажности /от 32% до 98%/ прямой 5 делится на две: А и В; сочетания давления и влажности в области А и характеризуют благоприятную погоду для больных **БА** /либо влияние погодно-климатических условий на них минимально/. В зоне же В сочетания атмосферного давления и относительная влажность неблагоприятны для больного **БА**. Например, при атмосферном давлении 760 мм рт.ст. повышение относительной влажности более 75% ведет к росту числа обострений; для давления 728 мм рт.ст. критическая величина относительной влажности составляет около 80%.

Очевидно, что не все сочетания относительной влажности и атмосферного давления, попадающие в области А и В, могут встречаться в реальной жизни, поскольку общеизвестна тенденция к росту влажности при падении атмосферного давления; этот аспект проблемы не обсуждается.

ЛЕТО. Еще один сезон, когда ключевым фактором в моделях является давление. Так же, как и ранее, 99,9% дисперсии вторичного фактора объ-

ясняется абсолютной величиной атмосферного давления, что позволяет использовать его для построения уравнения:

$$Y = 0,025 \cdot X_{24} \quad /4/$$

где Y – число обострений.

Коэффициент регрессии близок к полученному ранее. С учетом того, что среднее число вызовов составило 18,5 /стандартное отклонение – 5,54/, оптимальное давление окажется равным 740,0 мм рт.ст., однако с учетом его реальных сезонных колебаний /от 728,0 мм рт.ст. до 777,0 мм рт.ст./, необходим учет и второго фактора. Для числа вызовов 24 / $X_{ср.} + 1$ / необходимо, чтобы атмосферное давление составило 960 мм рт.ст., что нереально. Добавление вторичного фактора из второго шага регрессии /фактор T , дисперсию которого на 99,8% объясняет показатель X_6 – максимальная температура воздуха/ приводит к уравнению:

$$Y = 0,018 \cdot X_{24} + 0,216 \cdot X_6 \quad /5/$$

где Y – число обострений.

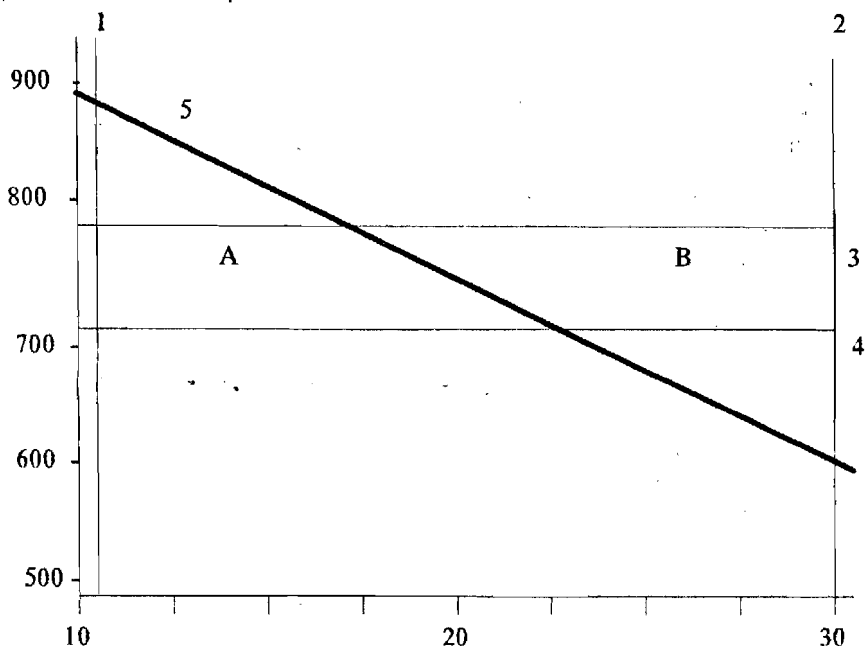


Рис.2. Лето. Благоприятные и неблагоприятные сочетания атмосферного давления и максимальной температуры. По оси абсцисс — максимальная температура (в °С), по оси ординат — атмосферное давление (мм.рт.ст.); 1, 2 — минимальные и максимальные значения температуры в летнем сезоне; 3, 4 — минимальное и максимальное значение атмосферного давления в летнем сезоне; 5 — граница благоприятных и неблагоприятных сочетаний погодных факторов; А — благоприятная зона; В — неблагоприятная зона.

Логическая модель выглядит таким образом, что к обострению **БА** в летний период приводит рост атмосферного давления и повышение максимальной температуры воздуха. Размах колебаний максимальной темпе-

ратуры в исследуемый период составил 10,9 - 30,0 ° С . Графический образ модели представлен на рис.2; оптимальная зависимость атмосферного давления от температуры /для базального числа вызовов/ описывается формулой:

$$X_{24} = 1028 - 14,5 * X_6 \quad /6/.$$

Зона **A** включает благоприятные погодные условия, зона **B** – неблагоприятные. Например, при максимальном встречающемся давлении 776,0 мм рт.ст. к росту обострений **БА** будет приводить максимальная дневная температура выше 17 ° С ; при давлении 728 мм рт.ст. – выше 20 ° С .

ЗИМНИЙ СЕЗОН. На первом шаге моделирования в уравнение включается фактор влажности, на **87,5%** объясняющий суммарную дисперсию вызовов. Как и раньше, первичный показатель **X18** на **99,9%** объясняет дисперсию вторичного фактора, что позволяет включить его в модель вместо вторичного:

$$Y = 0,216 * X_{18} \quad /7/.$$

При прочих равных условиях это означает, что рост влажности на **10%** приводит к увеличению числа обострений **БА** приблизительно на 2 случая. Средняя величина обострений составила зимой **18,7** /стандартное отклонение – **7,4**/. Следовательно, к росту обострений /то есть пику/ приводит увеличение относительной влажности более **86,6%**. На втором шаге в регрессионное уравнение включается комплексный показатель температуры. Примечательно, что в те сезоны, когда влажность является ключевым показателем /зима и осень/. На втором этапе моделирования обязательно присутствует температура. Для зимы трактовка температурного фактора сложна, поскольку единственный фактор **X8** /разница между максимальной и минимальной температурами/ объясняет дисперсию вторичного на **75,3%**; два первичных показателя /плюс **X4** – модуль градиента средней температуры/ обеспечивают **92,6%** суммарной дисперсии. По сути своей эти показатели близки, поскольку отражают перепады температуры. Тем не менее, несмотря на сравнительно низкий вклад показателя **X8** в дисперсию /по сравнению с предыдущими случаями/, мы посчитали возможным использовать его в логических моделях; тем более, что трехмерная сетка координат сложна для восприятия.

$$Y = 0,209 * X_{18} + 0,156 * X_8 \quad /8/.$$

где **Y** – число вызовов.

С учетом среднего числа вызовов получаем следующее уравнение прямой, которая делит плоскость на область благоприятных и неблагоприятных сочетаний погодных условий /рис.3/.

$$X_{18} = 89,5 - 0,75 * X_8 \quad /9/.$$

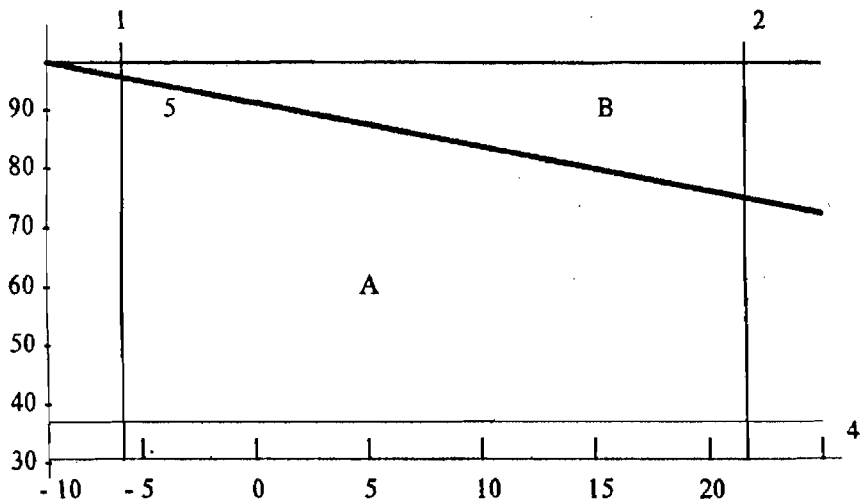


Рис.3. Зима. Благоприятные и неблагоприятные сочетания относительной влажности и разницы между максимальной и минимальной температурами. По оси абсцисс — разница между максимальной и минимальной температурами ($^{\circ}\text{C}$), по оси ординат — относительная влажность (в %); 1,2 — минимальные и максимальные размахи температуры в зимнем сезоне; 3, 4 — минимальное и максимальное значение относительной влажности в зимнем сезоне; 5 — границы благоприятных и неблагоприятных сочетаний погодных факторов; А — благоприятная зона; В — неблагоприятная зона.

Максимальное и минимальное значение X_{18} в зимнем сезоне — 99 и 38%, для X_8 — 21,1 и $-5,4/$ $^{\circ}\text{C}$. Мы также получаем две области сочетаний относительной влажности и разницы между максимальной и минимальной температурами. При минимальной относительной влажности в 38% к росту обострений приводят перепады температуры в 51°C . Что, очевидно, в условиях средней полосы не встречается. Следовательно, на фоне низкой влажности встречаемые перепады температуры благоприятны для астматиков. Максимальная влажность в 99% уже сама приводит к пику обострений; даже минимальные перепады температуры будут способствовать им. При максимальных перепадах температуры в $21,1^{\circ}\text{C}$ для больных БА оптимальной является влажность менее 72%.

ОСЕННИЙ СЕЗОН. Наиболее важным фактором является влажность; вторичный фактор на 96,1% объясняется показателем X_{18} . Получаем следующее уравнение:

$$Y = 0,217 * X_{18} \quad /10/$$

где Y — число вызовов.

Коэффициент регрессии близок к полученному нами для зимнего сезона. С учетом среднего количества вызовов $/18,5$ стандартное отклонение — 7,4/, оптимальная влажность будет 85%. Температурный фактор, входящий на втором этапе моделирования, на 86,6% объясняется первичным показателем X_{18} , а в сочетании с X_4 — на 97,4%. Оба показателя отража-

ют колебания температуры и, по приведенным выше соображениям, мы решили оставить показатель $X8$. Уравнение примет вид:

$$Y = 0,204 * X18 + 0,192 * X8 \quad /11/,$$

где Y — число обострений.

Отсюда получаем оптимальное сочетание двух показателей /с учетом базального уровня вызовов/.

$$X18 = 91 - 0,9 * X8 \quad /12/.$$

С учетом допустимых интервалов значений /для $X18$ — 98% и 37%, для $X8$ — 19,5% и $0^\circ C$ /, получена следующая картина /рис.4/.

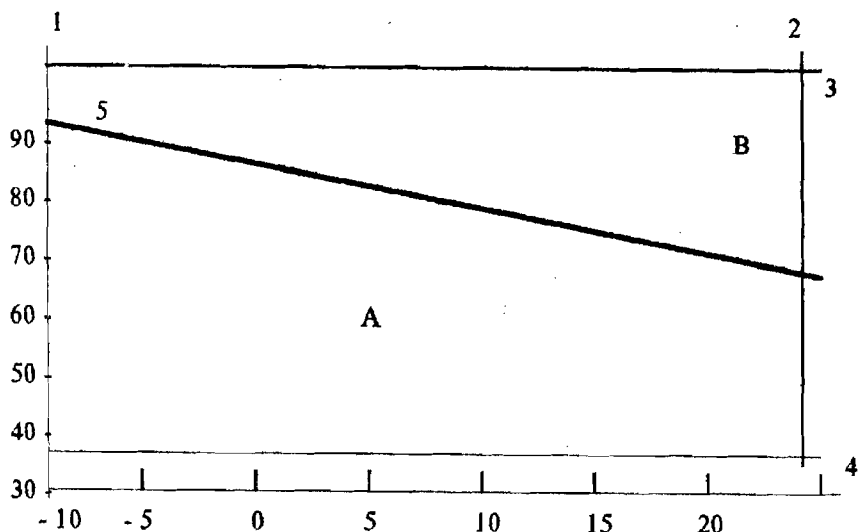


Рис.4. Осень. Благоприятные и неблагоприятные сочетания относительной влажности и разницы между максимальной и минимальной температурами. По оси абсцисс — разница между максимальной и минимальной температурами (в $^\circ C$), по оси ординат — относительная влажность (в %); 1, 2 — минимальные и максимальные размахи температуры в осеннем сезоне; 3, 4 — минимальное и максимальное значение относительной влажности в осеннем сезоне; 5 — границы благоприятных и неблагоприятных сочетаний погодных факторов; А — благоприятная зона; В — неблагоприятная зона.

Максимальная влажность 98% неблагоприятна для больных БА и любые перепады температур ведут к пикам заболеваемости. При максимальном перепаде температур для больных БА благоприятна влажность менее 90%.

Таким образом, понятийные модели обострений БА а зависимости от погодно-климатических условий выглядит следующим образом. К подъему обострения БА приводят зимой и осенью — рост относительной влажности на фоне увеличения колебаний между максимальной и минимальной температурами; весной — рост атмосферного давления и повышение относительной влажности; летом — рост атмосферного давления на фоне повышения средней температуры воздуха. Эти результаты указывают на существование уникальных сочетаний погодных факторов, влияющих на БА в

отдельные сезоны. Действительно, несмотря на формальную идентичность уравнений регрессии, например, зимой и осенью, благоприятные и неблагоприятные сочетания метеоэлементов различны. Так, зимой, при перепаде температур в $21,1^{\circ}\text{C}$, граница комфортной влажности не превышает 72%, а осенью, при том же температурном режиме – 68%.

ВЫВОДЫ:

1. Построены математические модели, объясняющие обострение БА в зависимости от погодных условий с достоверностью 85,5—90%.
2. Для обострения БА наиболее значимыми /по мере убывания/ являются давление, влажность, температура.
3. Выявлены благоприятные и неблагоприятные сочетания погодных показателей для больных БА.

S U M M A R Y

During 1991-1994 we formed database including the asthma attack patients and weather characteristics. Mathematical models of asthma attack periodicity was done ($R = 85,5—90,0\%$). Atmospheric pressure, humidity and temperature influenced the asthma attack.