

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЯВЛЕНИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. М. Шмандий, канд. физ.-мат. наук, КГПУ (г. Кременчуг)

Викладено результати досліджень впливу проявів техногенної небезпеки на стан здоров'я населення територіально-виробничого комплексу Середнього Придніпров'я. Отримано залежності від часу індексу здоров'я населення досліджуваного регіону, індексу техногенної безпеки, середніх річних концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі, показника захворюваності за вибраними групами хвороб.

Техногенная опасность является одной из составляющих экологической опасности [1]. На региональном уровне она проявляется в основном в изменении состояния природной подсистемы: повышении концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, водных объектах и почве, возрастании уровней вредных физических воздействий и т. п. Изменение параметров природной среды приводит к возникновению и развитию различных заболеваний у людей [2–4]. Поэтому анализ влияния проявлений техногенной опасности на состояние здоровья (точнее, на уровень заболеваемости) населения является достаточно актуальной научно-практической задачей.

В настоящей статье изложены результаты, которые являются продолжением предыдущих исследований [5] автора по конкретному техногенно нагруженному региону – территориально-производственному комплексу Среднего Приднепровья. Получены зависимости от времени индекса H здоровья населения исследуемого региона, индекса F техногенной безопасности, средних годовых концентраций $C_{\text{ср}}$ вредных веществ в атмосферном воздухе, показателя заболеваемости P по выбранным группам болезней. Исследования проведены за 12-летний период времени по четырем зонам региона (центральной, автозаводской, северной, южной), отличающимся уровнем техногенной нагрузки. Общий методический подход в исследованиях состоит в количественной пространственно-временной характеристике выраженности на изучаемых территориях проявлений техногенной опасности и изучении состояния здоровья населения по комплексу показателей.

Целью работы является установление корреляции между уровнем техногенной опасности и заболеваемостью населения в регионе.

Анализ экспериментальных зависимостей параметров H , F , P , $C_{\text{ср}}$ от времени проведен с помощью математического моделирования методами корреляционно-регрессивного анализа временных рядов [6].

Экспериментальные данные задаются набором равномерно отстоящих друг от друга чисел (годы). Для удобства преобразуем их в натуральные целые

числа (1988→ 0, 1989→1 и т.д.). В результате получаем последовательность $t = 0, 1, \dots, i, \dots, T$. Параметры H, F, P, C_{cp} будем рассматривать как переменные (для общности рассуждений обозначим через y). Следовательно, имеет место наблюдаемый временной ряд: $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_m$. Достаточно общей математической (стохастической) моделью служит уравнение

$$y_t = f(t) + u(t), \quad (1)$$

где $f(t)$ – полностью детерминированная последовательность; $u(t)$ – случайная последовательность, подчиняющаяся некоторому вероятностному закону.

Последовательность $f(t)$ определяется влиянием введенных в модель факторов, а $u(t)$ – влиянием факторов, не учтенных при составлении модели. В наших исследованиях $f(t)$ – статистические данные, полученные путем долговременных наблюдений, а $u(t)$ можно рассматривать как отклонения, вызванные конкретным состоянием системы.

Характер изменения экспериментальных данных [5] указывает на то, что $f(t)$ представляет собой медленно меняющийся временной ряд, который можно выразить полиномом достаточно низкой степени. При этом $f(t) = M(y_i)$, где $M(y_i)$ – математическое ожидание величины y_i , то есть стохастическая ошибка подчиняется нормальному закону распределения. Математические модели строили с помощью полиномов различной степени. Установлено, что можно ограничиться третьей степенью, так как дальнейшее увеличение степени полинома не приводит к существенному улучшению модели. При этом модель (1) будет иметь вид

$$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + u_t, \quad (2)$$

где a_0, a_1, a_2, a_3 – параметры общей модели.

Модель носит стохастический характер; значения входящих параметров могут быть указаны в определенных доверительных интервалах. Детерминированную модель на основании (2) представим следующим образом:

$$\bar{y}(t) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 t + \hat{a}_2 t^2 + \hat{a}_3 t^3, \quad (3)$$

где $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3$ – параметры детерминированной модели.

Значения указанных параметров определяем с использованием метода [7] путем решения системы нормальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \hat{a}_0 T &+ \hat{a}_1 \sum_{i=1}^T t_i &+ \hat{a}_2 \sum_{i=1}^T t_i^2 &+ \hat{a}_3 \sum_{i=1}^T t_i^3 &= \sum_{i=1}^T y_i \\ \hat{a}_0 \sum_{i=1}^T t_i &+ \hat{a}_1 \sum_{i=1}^T t_i^2 &+ \hat{a}_2 \sum_{i=1}^T t_i^3 &+ \hat{a}_3 \sum_{i=1}^T t_i^4 &= \sum_{i=1}^T t_i y_i \\ \hat{a}_0 \sum_{i=1}^T t_i^2 &+ \hat{a}_1 \sum_{i=1}^T t_i^3 &+ \hat{a}_2 \sum_{i=1}^T t_i^4 &+ \hat{a}_3 \sum_{i=1}^T t_i^5 &= \sum_{i=1}^T t_i^2 y_i \\ \hat{a}_0 \sum_{i=1}^T t_i^3 &+ \hat{a}_1 \sum_{i=1}^T t_i^4 &+ \hat{a}_2 \sum_{i=1}^T t_i^5 &+ \hat{a}_3 \sum_{i=1}^T t_i^6 &= \sum_{i=1}^T t_i^3 y_i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В результате получаем реальные детерминированные модели для каждого конкретного случая и строим по ним расчетные зависимости $H = H(t), F = F(t)$,

$C_{cp} = C(t)$, $P = P(t)$. Отличия их от экспериментальных зависимостей [5] дают возможность установить присутствие субъективизма при получении исходных данных (например преднамеренные искажения данных в медицинской статистике с целью снижения показателей заболеваемости).

Если допустить, что в ряду наблюдаемых величин имеет место авторегрессия, то можно осуществить прогноз состояния системы на последующие непродолжительные временные интервалы ($y_t = \rho y_{t-1} + u_t$, где ρ – авторегрессионный параметр). Гипотеза о присутствии авторегрессии первого порядка проверяется на основе известного теста Дарбина–Уотсона:

$$\rho = 1 - \left(1 - \frac{\sum_{t=2}^T U_t \cdot U_{t-1}}{\sum_{t=1}^T U_t^2} \right) - \frac{U_1^2 + U_T^2}{\sum_{t=1}^T U_t^2}, \quad (5)$$

где $U_t = y_t - \bar{y}_t$, то есть разность между экспериментальной и рассчитанной по предлагаемой модели величинами.

Чем ближе значение этого параметра (по модулю) к единице, тем выше степень присутствия авторегрессии. При $\rho = 0$ авторегрессия отсутствует.

Моделирование ситуации при рассмотрении зависимости заболеваемости одновременно от нескольких факторов проявления техногенной опасности (например при учете одновременного воздействия нескольких вредных веществ) проводим с помощью многомерной стохастической модели. Рассмотрим случай двух переменных. Общую математическую модель представим следующим образом:

$$y(x_1, x_2) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + U, \quad (6)$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ – параметры общей модели; x_1 и x_2 – показатели проявления техногенной опасности, связанной с присутствием в атмосферном воздухе вредных веществ 1 и 2 соответственно; U – параметр, определяемый факторами, не учтенными при составлении модели.

Детерминированная модель в этом случае имеет вид

$$\bar{y}(x_1, x_2) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2, \quad (7)$$

где $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ – параметры детерминированной модели, которые находим в результате решения системы нормальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \hat{\beta}_0 T + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^T x_{1i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^T x_{2i} &= \sum_{i=1}^T y_i \\ \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^T x_{1i} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^T x_{1i}^2 + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^T x_{1i} \cdot x_{2i} &= \sum_{i=1}^T x_{1i} y_i \\ \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^T x_{2i} + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^T x_{1i} \cdot x_{2i} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^T x_{2i}^2 &= \sum_{i=1}^T x_{2i} y_i \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для одномерной модели (учет действия одного вредного вещества) в формулах (6–8) рассматриваем зависимость $y(x)$, полагая $x_1 = x$ и $x_2 = 0$.

Установление корреляционных связей между причиной (безопасность и опасность, характеризуемые параметрами F и C_{cp}) и следствием (состояние здоровья и заболеваемость, описываемые параметрами H и P) проведено при помощи метода, изложенного в [8]. Для определения тесноты связи наблюдаемых (экспериментальных) величин в одномерном случае использованы парные коэффициенты корреляции

$$r_{xy} = \frac{T \sum_{i,j=1}^T x_i y_j - \sum_{i=1}^T x_i \sum_{j=1}^T y_j}{\sqrt{\left(T \sum_{i=1}^T x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^T x_i \right)^2 \right) \left(T \sum_{j=1}^T y_j^2 - \left(\sum_{j=1}^T y_j \right)^2 \right)}}, \quad (9)$$

где x – независимая переменная (F или C_{cp}); y – предположительно зависимая переменная – индекс здоровья населения (H или P).

Для анализа двумерной ситуации применен смешанный коэффициент корреляции

$$R_{y,x_1,x_2} = \frac{\sqrt{r_{x_1,y}^2 + r_{x_2,y}^2 - 2r_{x_1,y}r_{x_2,y}r_{x_1,x_2}}}{\sqrt{1 - r_{x_1,x_2}^2}}, \quad (10)$$

где $r_{x_1,y}$ и $r_{x_2,y}$ – парный коэффициент корреляции между показателем заболеваемости и техногенной опасностью, вызванной присутствием в атмосферном воздухе вредных веществ 1 и 2 соответственно; r_{x_1,x_2} – парный коэффициент корреляции.

Чем ближе значения коэффициентов корреляции к единице, тем больше степень влияния проявлений выбранных подвидов техногенной опасности на состояние здоровья населения.

В результате применения предложенных математических моделей для анализа фактических данных [5] получены достаточно высокие значения авторегрессионного параметра (0,68 для $H = H(t)$ и 0,75 для $F = F(t)$) для ситуации, характеризующей регион в целом, что указывает на возможность обоснованного прогнозирования уровней техногенной безопасности и здоровья населения. Это подтверждается тем, что рассчитанные по формулам (3) и (4) значения H (0,53 и 0,54) и F (0,16 и 0,19) мало отличаются от реальных значений H (0,51 и 0,53) и F (0,17 и 0,19), полученных в результате наблюдений, для двух последующих после анализируемого периода лет.

Парные коэффициенты корреляции между зависимостями H и F для центральной, северной и южной зон региона соответственно равны 0,88; 0,77; 0,85. Следовательно, можно говорить о том, что в данных конкретных случаях состояние здоровья населения в значительной степени определяется уровнем техногенной безопасности. В автозаводской зоне корреляции практически не выявлено ($r = 0,1$). Это объясняется тем, что не удалось получить достоверных данных по интенсивности проявлений техногенной опасности анализируемого под-

вида, что вызвано, в первую очередь, несовершенством существующей системы наблюдения и контроля за загрязнением атмосферного воздуха в этой зоне.

По результатам исследований установлена корреляция между распространенностью болезней органов дыхания и проявлениями техногенной опасности, связанной с загрязнением атмосферного воздуха пылью, в северной и южной зонах региона (парные коэффициенты корреляции равны 0,77 и 0,92 соответственно). В центральной зоне такого соответствия не выявлено как по отмеченному, так и по остальным контролируемым ингредиентам (кроме фенола). По нашему мнению, это объясняется тем, что посты контроля загрязнения атмосферы, расположенные в этой зоне, находятся в непосредственной близости от автомагистралей с довольно интенсивным движением автотранспорта. Ввиду малых высот источников выбросов (транспортных средств) рассеивание выбрасываемых ими вредных веществ происходит на незначительной территории, слабо проникая внутрь селитебной застройки. Следовательно, измеряемые постами наблюдения уровни загрязнения не могут адекватно характеризовать ситуацию в целом по зоне. В отличие от описанной ситуации посты наблюдения в северной и южной зонах расположены внутри жилой застройки и получаемые данные отражают реальную картину.

Установлено, что на болезни нервной системы и органов чувств в центральной зоне оказывают влияние проявления техногенной опасности, связанной с содержанием фенола в атмосферном воздухе, а в южной зоне – оксида углерода (коэффициенты корреляции соответственно равны 0,24 и 0,75). Полученный результат по центральной зоне не противоречит высказанному выше суждению в отношении размещения в ней постов наблюдения (фенол не содержится в выбросах транспортных средств) и измеряемые концентрации этого ингредиента достаточно полно отражают ситуацию по зоне. Динамика развития новообразований коррелирует с проявлениями техногенной опасности, связанной с загрязнением воздуха диоксидами серы и азота в южной зоне. Для анализа в этом случае применена двумерная стохастическая модель. На основании расчетов, проведенных по формулам (9) и (10), установлено, что на развитие новообразований в рассматриваемой зоне в большей степени влияет присутствие в атмосферном воздухе сернистого ангидрида, чем оксидов азота (парные коэффициенты корреляции равны соответственно 0,81 и 0,48). Соседство опасностей (одновременное наличие обоих вредных веществ) усиливает степень воздействия на развитие болезней анализируемой группы, о чем свидетельствует достаточно высокое (0,82) значение смешанного коэффициента корреляции.

Выводы

В северной и южной зонах исследуемого региона установлено влияние проявлений техногенной опасности на возникновение различных видов болезней. Именно в этих зонах находятся мощные промышленные и теплоэнергетические источники загрязнения атмосферного воздуха. Посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха размещены достаточно удачно, чего нельзя сказать об остальных зонах, где существующая система их располо-

жения не позволяет надежно установить реальную ситуацию в целом по каждой зоне. Последнее обстоятельство, безусловно, сказывается на достоверности информации о степени проявления техногенной опасности.

Тот факт, что не обнаружено влияние всех проявлений техногенной опасности анализируемого подвида на развитие определенных групп болезней можно, по-видимому, объяснить присутствием в атмосферном воздухе в конкретной зоне других вредных веществ, которые не контролируются постами наблюдений, а также воздействием факторов иной природы, влияющих в большей степени на состояние здоровья населения.

Изложенный методический подход может быть применен в других техногенно нагруженных регионах.

1. Шмандий В. М. Научно-методические принципы исследования состояний техногенной опасности в регионе // Вісник КДПУ. – Кременчук. – 2002. – Вип. 5. – (16). – С. 19–24.

2. Боев В. М. Влияние экологической ситуации на состояние здоровья детей // Экопатология детского возраста. – М, 1995. – С. 132–135.

3. Мизурницкий Ю. Л. Роль экологических факторов при аллергических заболеваниях у детей // Экопатология детского возраста. – М, 1995. – С. 87–88.

4. Пивоваров Ю. П. Экология и здоровье населения // Сб. докл. III Всерос. конф. с междунар. участием «Новое в экологии и БЖД». – С.-Петербург. – 1988. – С. 28–29.

5. Шмандий В. М. Установление взаимосвязи между уровнем техногенной нагрузки и заболеваемостью населения // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків. – 2001. – № 14. – С. 16–25.

6. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 756 с.

7. Батунер Л. М., Позин М. Е. Математические методы в химической технике. – Л.: Химия, 1996. – 824 с.

8. Лук'янченко І., Краснікова Л. Економетрика. – К.: Знання, 1988. – 494 с.