

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ (05.26.02, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 612.014.464

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.64.86.009

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ОЦЕНКЕ РИСКОВ ЗДОРОВЬЮ ЛЮДЕЙ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ АТМОСФЕРЫ ДИОКСИДОМ АЗОТА

Иванов А.Р. канд. хим. наук

*Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна*

Аннотация. Сделана попытка установить связь заболеваемости населения одного из центральных районов г. Санкт-Петербурга расстройствами верхних дыхательных путей с концентрациями диоксида азота в уличном воздухе в 2006-2012 годах. Применён факторный анализ. Конечной целью исследования являлось получение математической зависимости этих показателей. Для этого были привлечены методы, взятые из концепции риска. В результате рассчитаны сокращения ожидаемой продолжительности жизни под действием данного вредного фактора у двух различных групп населения: курящих и некурящих. Проведено сопоставление полученных величин рисков с соответствующими литературными данными для городов Российской Федерации за предыдущие 20 лет.

Ключевые слова: диоксид азота, риск, сокращение ожидаемой продолжительности жизни, заболеваемость, коэффициент корреляции, автотранспорт, атмосферный воздух.

NEW APPROACHES IN ESTIMATION THE RISKS TO HUMAN HEALTH WHEN THE ATMOSPHERE IS POLLUTED WITH NITROGEN DIOXIDE

Ivanov A.R. Ph.D. of Chemical Sciences

Saint Petersburg State University industrial technology and design

Abstract. An attempt has been made to establish a relationship between the incidence of the population of one of the central districts of St. Petersburg with upper respiratory tract disorders and nitrogen dioxide concentrations in street air in 2006-2012. The factor analysis was applied. The ultimate goal of the study was to obtain the mathematical interdependence of these indicators. To achieve this, methods were taken from the concept of risk. As a result, the loss of life expectancy under the influence of this harmful factor in two different groups of the population: smokers and non-smokers was calculated. The risk values obtained were compared with the corresponding literature data for the cities of the Russian Federation for the previous 20 years.

Key words: nitrogen dioxide, risk, loss of life expectancy, incidence, correlation coefficient, auto vehicles, atmospheric air.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее опасным последствием загрязнения атмосферы в населенном пункте продуктами сгорания бензина и дизельного топлива является возникновение смоговой ситуации [1-4].

Впервые такой тип загрязнения атмосферы был описан в городе Лос-Анджелесе (США). Признаком его появления является голубоватая дымка, вызванная интенсивным аэрозолеобразованием. Причиной возникновения фотохимического смога в присутствии диоксида азота (NO_2) является, как правило, образование вторичных загрязнителей из компонентов выхлопов автотранспорта, под действием солнечного излучения. Главным действующим фактором фотохимического смога является озон в концентрации свыше 3 мг/м^3 и пероксиды. Среди последствий отравления продуктами можно назвать: заболевания дыхательной системы, проявления аллергии, первично токсические реакции, ослабление иммунитета [5-10].

Диоксид азота сам по себе является токсичным химическим соединением. Он относится к веществам второго класса опасности, его среднесуточная предельно допустимая концентрация, ПДК_{СС} в воздухе (C_A), составляет $0,04 \text{ мг} \times \text{м}^{-3}$, а максимальная разовая, ПДК_{МР} (C_M) равна $0,085 \text{ мг} \times \text{м}^{-3}$ (изменена на $0,2 \text{ мг} \times \text{м}^{-3}$) [11-13].

Существует несколько способов определения количества NO_2 в воздухе: колориметрия, метод прямого подсчета его источников, биоиндикация, в частности, по наличию лишайников (лихеноиндикация), а также некоторые приборные методы, основанные на таких эффектах как люминесценция и др. [13-20].

Цель данного исследования заключалась в проведении мониторинга содержания диоксида азота в уличном воздухе и состояния здоровья населения Адмиралтейского района города Санкт-Петербурга, а также изучении взаимосвязи этих двух экологических показателей. Автор также поставил перед собой задачу: выяснить существует ли различие в величине риска, связанного с данным опасным фактором для групп людей, отличных по своему стереотипу поведения – курящих и некурящих.

Для выяснения вредного воздействия диоксида азота на здоровье населения Адмиралтейского района Санкт-Петербурга и его сравнения с рассчитанным теоретически возможным эффектом, автор предполагал:

- использовать для оценки содержания диоксида азота в уличном воздухе разнообразные дублирующие методы;
- предложить и опробовать новый метод расчета риска интоксикации людей диоксидом азота на основе данных о его содержании в воздухе;
- предложить и опробовать метод расчета риска интоксикации людей диоксидом азота исходя из сведений о заболеваемости населения;
- сравнить результаты, полученные различными методами оценки риска и выявить, таким образом, наличие или отсутствие взаимосвязи между изменением содержания диоксида азота в уличном воздухе и заболеваемостью населения в Адмиралтейском районе 2006-2012 годах.

Для решения поставленной задачи автором были использованы три способа оценки содержания диоксида азота в воздухе:

- химический анализ состава атмосферного воздуха;
- подсчет количества транспортных источников диоксида азота;
- лишеноиндикация NO_2 в воздухе.

Для получения информации о заболеваемости населения были проведены опросы населения Адмиралтейского района Санкт-Петербурга в 2006-2012 годах, в результате которых автор изучил ситуацию с заболеваниями верхних дыхательных путей у этой категории лиц.

Литературный обзор

В специальной литературе [21-25] имеются методики оценки влияния диоксида азота в воздухе на здоровье людей путем расчета риска. Оценка риска для здоровья населения является важной санитарно-гигиенической задачей. Автор [26] приводит метод для расчета уменьшения ожидаемой продолжительности жизни людей под влиянием вредных факторов, определяющих риск – «LLE» (loss of life expectancy):

$$LLE = (L - L')R, \quad (1)$$

где L - средняя продолжительность жизни, L' - средний возраст, R – риск [26].

Расчет риска, R можно вести на основе данных о концентрации токсичного компонента в воздухе. Тогда отправной точкой для создания метода оценки риска будет ПДК этой примеси. Можно также оценить R , исходя из данных о случаях заболеваний в изучаемой группе населения.

Авторы работы [24] приводят методику расчета потенциального территориального риска хронических заболеваний, связанных с загрязнением атмосферы оксидами азота, содержащимися в автомобильных выхлопах. В данном случае используется беспорговая линейно-экспоненциальная модель риска. При этом заболеваемость населения и риск связаны соотношениями:

$$D = \frac{p(N_D)}{N} = a + bR_D, \quad (2)$$

где D – заболеваемость, год^{-1} -статистический показатель, $p(N_D)$ – частота заболеваний, человек \times год $^{-1}$, N_D - число заболевших, человек, N – численность населения, человек, a - фоновая заболеваемость, год^{-1} , b - коэффициент пропорциональности, год^{-1} , R_D - риск заболевания. Полученный таким образом двумерный массив является полем потенциального риска заболевания населения, обусловленного загрязнением атмосферы оксидами азота автомобильных выхлопов. Эта методика является универсальной и не зависит от выбора модели атмосферного рассеивания, а так же методов оценки риска токсических эффектов. Однако, как замечают сами авторы, реализация таких исследований с одной стороны требует наличия вычислительной техники, достаточно высокого уровня, а с другой – слабо отражает риск заболевания отдельного индивидуума, проживающего на опасной территории [24].

В работе [21] для веществ, относящихся ко второму классу опасности, в частности для диоксида азота, приводится следующий алгоритм расчета риска: сначала рассчитывали величину пробитов (Probit). Для перевода их величин в риски использовали табл. нормального вероятностного распределения [21].

Авторы работ [5-7], отмечают, что поведение такой сложной системы, как атмосфера, подчас выражается в неаддитивности действия факторов. Рассматривая риск как вероятностную величину, целесообразно вести его расчет, используя формулы вида [4,25]:

$$R_1 = P_1 Q_1, \quad (3)$$

где R_1 – риск хронической (кумулятивной) интоксикации, $Q_1 = t/24$ – отношение времени воздействия на субъект опасной примеси в часах за 1 сутки, в часах, к 24 часам – мера ущерба (экспозиция);

$$P_1 = c(c + C_A)^{-1}, \quad (4)$$

P_1 - вероятность интоксикации, отношение концентрации примеси к ее сумме со среднесуточной ПДК (токсический эффект), c – концентрация NO_2 в воздухе, C_A – среднесуточная ПДК;

$$R_2 = P_2 Q_2, \quad (5)$$

где R_2 - риск острой (моментальной) интоксикации, $Q_2 = \exp(-C_M \times c^{-1})$
мера ущерба в результате моментального токсического эффекта

$$P_2 = c(c + C_M)^{-1}, \quad (6)$$

P_2 – вероятность интоксикации, отношение концентрации примеси к ее сумме с максимальной разовой ПДК (токсический эффект), c – концентрация компонента в воздухе [4].

Таким образом, расчет риска с использованием ПДК сводится к вычислению вероятности ее превышения. Однако следует учитывать, что не всегда понятие «вероятность» достоверно отражает реальную картину вредного воздействия примесей в атмосфере на здоровье людей. Наиболее целесообразным, по мнению автора, является применение формул вида (3) и (5), так как оценка риска в этом случае приводит к результату, отвечающему условию $0 \leq R \leq 1$ [27].

Можно рассматривать реальный риск действия токсичного компонента на здоровье определенной категории населения, как интеграл «элементарных» рисков, r , распределенных во времени и пространстве по некоторому закону, F :

$$R = \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} F(r) dr \quad (7)$$

В простейшем случае (при $F(r)=1$, $C=0$) результат интегрирования (7), R_{INT} (риск интоксикации) будет равен:

$$R_{\text{INT}} = R_{\text{MAX}} - R_{\text{MIN}}, \quad (8)$$

Максимальный риск интоксикации будет равен [26,27]:

$$R_{\text{MAX}} = R_1 + R_2, \quad (9)$$

а минимальный составит [26,27]:

$$R_{\text{min}} = R_1 \cdot R_2, \quad (10)$$

В простейшем случае результат интегрирования (7) - риск интоксикации, R_{INT} , принимает вид закона сложения вероятностей двух независимых событий [27]:

$$R_{\text{INT}} = R_1 + R_2 - R_1 R_2. \quad (11)$$

Экспериментальные данные, которые могут быть получены в результате мониторинга концентрации в воздухе населенного пункта, и сведения о его источниках, можно будет также изучить помощью факторного анализа. Возникает вопрос: возможно ли использовать для оценки риска коэффициенты линейной или нелинейной корреляции. Если да, то, какие допущения и поправки в расчетах необходимо сделать.

Объекты и методики исследований

Методика проведения опросов населения. В 2006-2012 годах раз в два года были проведены три серии опросов жителей Адмиралтейского района Санкт-Петербурга. Предлагалось ответить на вопросы:

- курите вы или нет?
- сколько месяцев в году вы находитесь в городе?
- сколько часов в сутки вы проводите на улице?
- сколько раз за последние два года у вас были заболевания верхних дыхательных путей

(ЗВДП)?

Всего были регулярно, 3 раза за 6 лет опрошены 269 человек, в основном одни и те же лица (по месту жительства) в возрасте от 5 до 80 лет, среди которых было курящих 72 человека (возраст от 13 до 80 лет), 143 лица женского пола, 126 лиц мужского пола. Возрастные группы составляли: 11% 5-8 лет, 22% 12-17 лет, 57% 18-67 лет и 10% 68-80 лет, т.е. основную часть опрошенных составляли люди в возрасте около 43 лет.

В основу оценки риска заболеваемости в результате интоксикации была положена закономерность (2). На основе результатов опроса оценивали среднюю заболеваемость в год за период наблюдений по формуле:

$$D = n(\theta \cdot N)^{-1}, \quad (12)$$

где D - средняя заболеваемость, год⁻¹, n – число лиц, у которых выявлены заболевания за период наблюдения, человек, N – число опрошенных, человек, θ – период времени наблюдения, лет.

На основе результатов опроса оценивали среднегодовое число случаев заболеваний в группе лиц, у которых выявлены заболевания:

$$z_D = Z(n \cdot \theta)^{-1}, \quad (13)$$

где z_D – среднегодовое число случаев заболеваний, в группе заболевших (человек×год)⁻¹, Z – суммарное число случаев заболеваний за период наблюдения, n – число лиц, у которых выявлены заболевания за период наблюдения, человек, θ – период времени наблюдения, лет;

а также среднегодовое число случаев заболеваний, приходящихся в среднем на одного жителя района, по формуле:

$$z = Z(N \cdot \theta)^{-1}, \quad (14)$$

где z - число случаев заболеваний в год в среднем, на одного человека (человек×год)⁻¹, Z – суммарное число случаев заболеваний за период наблюдения, N – число опрошенных, человек, θ – период времени наблюдения, лет.

Фоновую заболеваемость, a , год⁻¹, автор оценивал эвристически, с учетом размерности и условия, $a \leq D$, пользуясь соотношениями (13) и (14) по формуле:

$$a = (z_D - z)(\theta(z_D + z))^{-1}, \quad (15)$$

где θ – период наблюдения, лет.

Коэффициент b (из выражения (2)), измеряемый в год⁻¹, определяли исходя из практических соображений, по методу:

$$b = 1/\tau, \quad (16)$$

где τ - время в годах пребывания индивидуума в условиях, создающих риск здоровью за период наблюдения θ , лет, которое определяется параметрами:

τ_1 - количество месяцев в году, в течение которых индивидуум находится в Адмиралтейском районе г. Санкт-Петербурга;

τ_2 - число часов в сутки, в течение которых индивидуум дышит уличным воздухом в Адмиралтейском районе. Таким образом,

$$\tau = \theta\tau_1 12^{-1}\tau_2 24^{-1} = \theta\tau_1\tau_2 288^{-1} \quad (17)$$

Преобразуя формулу (2) вычисляли риск заболевания:

$$R_D = (D - a)b^{-1}, \quad (18)$$

по которому определяли LLE, пользуясь формулой (1).

Расчет количества транспортных источников NO₂

Оценивали концентрации NO₂, в городском воздухе исходя из интенсивности потока автомобилей, с последующим суммированием, и размеров «уличного каньона» на участке, где производили подсчет интенсивности движения автотранспорта [13,23].

Лихеноиндикация

Эпифитные лишайники чувствительны к присутствию в воздухе в первую очередь оксидов азота, а также озона, диоксида серы, фтористого водорода, соединений тяжелых металлов. Автор оценивал какую площадь в % занимают обнаруженные на коре деревьев лишайники *Xanthoria parietina* и *Parmelia pastilitera*, сравнивал эти данные с параметрами, указанными в [17,18] таким методом выяснял степень загрязнения воздуха.

Методика химического анализа

Предварительно был проведен скрининг NO_x с помощью реактива Грисса по методике, описанной в [14-16]. Химический анализ содержания диоксида азота в городском воздухе был

осуществлен, во-первых, методом активного пробоотбора по методике, описанной в [19,20], во-вторых, методом пассивного пробоотбора, который является авторской модификацией существующего [14-16,19]. Последний метод основан на обратном титровании иода, который выделяется из щелочного раствора йодида калия под действием газообразных окислителей [15,28].

Из полученных методами химического анализа, расчета количества транспортных источников и лихеноиндикации значений концентраций NO_2 выводили среднее арифметическое, на основе которого считали R_1 и R_2 по формулам (3) и (5) соответственно. Затем рассчитывали R_{\max} по формуле (9) и R_{\min} по формуле (10). Наконец, риск интоксикации, R_{INT} , вычисляли по формуле (8), и, пользуясь соотношением (1) считали LLE.

Результаты и их обсуждение

За период 2008-2010 г. у населения Адмиралтейского района Санкт-Петербурга (табл. 1) наблюдался рост заболеваемости верхних дыхательных путей (ЗВДП). Сходная динамика наблюдалась и для интенсивностей транспортных потоков в этом районе. Коэффициент корреляции интенсивностей транспортных потоков и концентрации в уличном воздухе составил 0,844 (табл. 1,3) [29] В табл. 3 представлены результаты мониторинга содержания диоксида азота в уличном воздухе, полученные на основе данных лихеноиндикации, расчета количества источников выхлопных газов и химического анализа воздуха путем усреднения данных. Здесь также приведены для сравнения литературные данные [21, 24].

Как видно из табл. 2 и 4, не существует линейной взаимосвязи между интенсивностью транспортных потоков и заболеваемостью населения, а также NO_2 концентрацией в уличном воздухе и заболеваемостью, исключая группу некурящих лиц.

Можно сравнить уменьшения продолжительности жизни - $\text{LLE}(R_D)$, вычисленные по R_D (риск заболевания, вычисленный на основе опросов населения), и $\text{LLE}(R_{\text{INT}})$, вычисленные по R_{INT} (риск интоксикации, полученный на основе оценок концентраций диоксида азота) (табл. 1,2,5). Их взаимозависимость подчиняется линейному закону:

$$\text{LLE}(R_D) = A + B \times \text{LLE}(R_{\text{INT}}) \quad (19).$$

Как видно из табл. 5, большее значение B наблюдается для группы некурящих опрошенных. Это означает более сильную зависимость состояния их здоровья от времени пребывания в атмосфере изученного района и действия на них содержащегося в нем диоксида азота. Очевидно, большему индивидуальному риску подвергаются лица, находящиеся под воздействием совокупности опасных факторов – курения и загазованного воздуха. Это подтверждается наиболее высоким коэффициентом корреляции изученной зависимости для группы курящих опрошенных (табл. 5). У курящих величина LLE лежит в диапазоне 3,6-4,5% (4,05% среднее), не курящих 0,0-5,0% (2,5% среднее) (табл. 1,3).

Из этих данных видно, что максимальный разброс данного показателя наблюдается для группы некурящих, а для курящего контингента его средняя величина наибольшая. Иными словами, заболевания верхних дыхательных путей, вызываемые интоксикацией диоксидом азота, в острой форме проявляются у некурящих людей и переходят в хронические расстройства у курящих.

Как пишет автор [26] курение зачастую является самым опасным фактором риска. LLE для него превышает 6,3 года. Для сравнения он приводит LLE для различных факторов риска. Так, например, для воспаления легких оно равно 0,36 года. Среднее арифметическое $\text{LLE}(R_D)$ для курящих (табл.1) за шесть лет наблюдений составляет 0,51 года, для не курящих эта величина составляет 0,45 лет, в целом по группе всех опрошенных она равна 0,47 года. Модуль разности этих показателей для группы курящих и всех опрошенных составляет 0,04, а для группы некурящих и всех опрошенных 0,02 (т.е. в 2 раза меньше). Среднее

арифметическое $LLE(R_{INT})$ (табл.2) за 6 лет наблюдений равно 13,2 года, которому соответствует риск 0,47. Этот показатель, по всей видимости, отражает влияние диоксида азота на весь контингент населения в целом, так как рассчитан по ПДК_{СС} и ПДК_{МР}.

Таблица 1. Результаты оценки интенсивности транспортных потоков, опросов жителей района о ЗВДП, вычисленные по ним риски заболевания верхних дыхательных путей и ожидаемое уменьшение продолжительности жизни (LLE)* населения Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга

Компонент	в 2006-2008 годах			в 2008-2010 годах			в 2010-2012 годах		
	курящие	некурящие	общая гр.	курящие	некурящие	общая гр.	курящие	некурящие	общая гр.
Среднесуточная интенсивность автомобильного движения, единиц в час (i)	1200			3000			1500		
Средняя заболеваемость в год, D, год ⁻¹	0,23	0,18	0,22	0,19	0,20	0,20	0,18	0,18	0,18
Число случаев заболеваний в группе лиц, у которых выявлены заболевания, Z _D , (человек×год) ⁻¹	0,93	1,2	1,0	1,1	0,90	1,0	0,78	0,83	0,81
Число случаев заболеваний в среднем, Z, (человек×год) ⁻¹	0,54	0,56	0,55	0,89	0,90	0,89	0,63	0,64	0,63
Фоновая заболеваемость, а, год ⁻¹	0,13	0,18	0,16	0,052	0,0	0,029	0,053	0,065	0,063
Коэффициент пропорциональности, b, год ⁻¹	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
Риск заболевания, R _D	0,015	0,0	0,0092	0,021	0,03	0,026	0,019	0,018	0,018
LLE(R _D), вычислено по R _D , лет	0,42	0,0	0,26	0,59	0,84	0,73	0,53	0,5	0,5

*) Рассчитаны для среднего возраста 40 лет и средней продолжительности жизни 68 лет, при ПДК_{МР} = 0,085 мг×м⁻³

Таблица 2. Результаты факторного анализа взаимосвязи транспортных потоков (i) и заболеваемости (Z) верхних дыхательных путей Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга в 2006-2012 г.г. (см. табл 1.) Расчет выполнен с помощью ресурса [29]

Группа	Квадратичная регрессия, уравнение	r*	Линейная регрессия, уравнение	r*
курящие	$Z=0,0000000963i^2-0,0004266667i+0,6033333333$	1	$Z=-0,000012903i+0,224516129$	- 0,470
некурящие	$Z=0,0000000074i^2-0,0000200000i+0,1933333333$	1	$Z=0,000011828i+0,16419354$	0,988
общая группа	$Z=0,0000000815i^2-0,0003533333i+0,5266666667$	1	$Z=-0,000003226i+0,206129032$	- 0,156

r* -коэффициент корреляции приводится с точностью до третьего знака.

Таблица 3. Данные по LLE* и сравнение концентраций NO₂ в уличном воздухе Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга и рисков интоксикации с данными из [21,24]

NO ₂	в 2006-2008 годах	в 2008- 2010 годах	в 2010- 2012 годах	СПб, 1989-99 г.г. [21]	Москва, 1989-99 г.г. [21]	Москва, 2004 г. [24]
Средняя концентрация, мг/м ³	0,12	0,28	0,20	0,07	0,091	0,16
R ₂ , риск острой (моментальной) интоксикации	0,29	0,56	0,46	0,911**	0,986**	-
Результаты лихеноиндикации, в ПДК _{СС}	≤3,0	≤5,0	3,0-5,0	-	-	-
R ₁ , риск хронической (кумулятивной) интоксикации	0,063	0,073	0,069	0,046	0,029	2,9·10 ⁻⁴
R _{max} = R ₁ + R ₂	0,35	0,63	0,53	-	-	-
LLE(R _{max}), по R _{max} , лет	9,8	17,6	14,8	-	-	-
R _{min} = R ₁ × R ₂	0,018	0,040	0,031	-	-	-
LLE(R _{min}), по R _{min} , лет	0,50	1,1	0,87	-	-	-
Риск интоксикации, R _{INT} = R _{max} - R _{min}	0,33	0,59	0,50	-	-	-
LLE(R _{INT}), вычислено по R _{INT} , лет	9,2	16,5	14,0	-	-	-

*) Рассчитаны для среднего возраста 40 лет и средней продолжительности жизни 68 лет, при ПДК_{МР} = 0,085 мг×м⁻³

**) Риск рассчитан на фоне аэрозольного загрязнения.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции концентрации NO₂ в уличном воздухе и заболеваемости верхних дыхательных путей различных групп опрошенных Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга в 2006-2012 г.г. (см. табл 1 и 2). Расчет выполнен с помощью ресурса [29]

Группа лиц	Коэффициент корреляции
общая	-0,05
курящие	-0,756
некурящие	0,866

Таблица 5. Значения свободных членов (А), угловых коэффициентов (В) и коэффициентов корреляции для зависимости (19) по трем группам опрошенных. Расчет выполнен с помощью ресурса [29]

Группа лиц	А	В	Коэффициент корреляции
общая	-0,330	0,0625	0,986
курящие	0,206	0,0233	0,999
некурящие	-1,06	0,114	0,998

Пользуясь приведенными в данной работе рассуждениями и величиной LLE для курения (см. выше) можно рассчитать значение LLE при интоксикации NO₂ для группы некурящих: 13,2 – 6,3 × 2 = 0,6 года.

Это, на взгляд автора, «чистое» значение уменьшения ожидаемой продолжительности жизни людей за счет вдыхания диоксида азота из уличного воздуха в Адмиралтейском районе г. Санкт-Петербурга в 2006-2012 годах. Согласно формуле (1) такому LLE соответствует величина риска, равная 0.021, что практически не превышает приемлемый уровень [21]. Однако этот риск выше среднеарифметических значений R_D за шесть лет для всех опрошенных (табл. 1). Очевидно, что оцененная подобным способом величина риска относится к здоровым некурящим людям. Для групп повышенного риска его уровень не является приемлемым.

Объединяя формулы (1) и (2) - (18), данные табл. 1, 2 и 5, а также обозначив в формуле (1) $L - L' = \Delta L$ можно предложить формулу расчета заболеваемости расстройствами верхних дыхательных путей (РВДП) жителей района города, подобному Адмиралтейскому району г. Санкт-Петербурга от содержания NO_2 в воздухе:

$$D = (A + Bc\Delta L Q_1(c + C_M + \exp\left(\frac{-C_M}{c}\right)))(c + C_M)^{-1}(c + C_M C^{-1})b\Delta L^{-1} + a, \text{ где:}$$

D – заболеваемость ЗВДП, год⁻¹;

b – коэффициент, определяемый по формуле (16), год⁻¹;

$L - L' = \Delta L$,

L – средняя продолжительность жизни, год,

L' – средний возраст, год,

A – свободный член в уравнении (19), из табл. 5, характеризующий группу населения (курящие или некурящие), год;

B – угловой коэффициент в уравнении (19), из табл. 5 характеризующий группу населения (курящие или некурящие), безразмерный;

c – концентрация NO_2 , мг/м³;

$Q_1 = t/24$ – нормировочный множитель из уравнения (3), отношение времени воздействия на субъект опасной примеси в часах за 1 сутки к 24 часам – мера ущерба (экспозиция) безразмерный;

C_M – предельно допустимая концентрация максимальная разовая (ПДК_{МР}), составляет 0.085 мг×м⁻³;

C_A – предельно допустимая концентрация среднесуточная, (ПДК_{СС}) составляет 0.04 мг×м⁻³,
 a – фоновая заболеваемость РВДП, год⁻¹.

Выводы:

- в работе предложен и использован новый алгоритм оценки опасного влияния диоксида азота на здоровье населения на основе сочетания расчета риска и факторного анализа данных, что позволяет судить о степени опасности присутствия NO_2 в городском воздухе при комбинации опасных факторов – курения и выхлопных газов автотранспорта;

- концентрации NO_2 в воздухе Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга в 2006-2012 годах находились в пределах 0,12 – 0,28 мг/м³, что выше в 1,7-4 раза, чем за период 1989-1999 годы;

- риск хронической интоксикации диоксидом азота с 1989 по 2012 г.г. в районе наблюдений возрос в 1,4-2,5 раза [21], в отличие от г. Москвы, где имела тенденция к его снижению [21,24].

Литература

1. Бутенко А.Б., Филлипов Е.С., Гуреев В.С., Пилявский В.П., Крупинская А.М. Вопросы экологии. Сборник материалов для жителей муниципального округа № 6 Адмиралтейского района Санкт-Петербурга. СПб.: Теза, 2009.
2. Чичерин С.С. и др. Санкт-Петербургу – чистый воздух. СПб.: Азбука, 2000 г.

3. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году. / Под. ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина, СПб.: ООО «Единый строительный портал», 2007. 173 С.
4. Белова К.В., Федченко В.В., Иванов А.Р. Оценка риска влияния выхлопных газов автотранспорта на здоровье населения Адмиралтейского района г. Санкт-Петербурга. //Шестая межд. Конф «Естественные и антропогенные аэрозоли» Тез. докл., 7-8 октября 2008./ отв ред. Л.С. Ивлев. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. С.9.
5. Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. СПб.: Химия, 2000.
6. Иванов А.Р. Влияние атмосферных фотоактивных минеральных аэрозолей на риск возникновения чрезвычайных ситуаций. Автореферат дис. к.х.н., СПб, 2004.
7. Иванов А.Р. Оценка риска для здоровья населения с учетом атмосферных гетерогенных процессов. // Химическая и биологическая безопасность. № 4-5 (34-35) М, 2007 С. 22-27.
8. Криксунов Е.А., В.В. Пасечник, А.П. Сидорин. Экология. СПб.: Издательский дом “Дрофа”, 1995.
9. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов
10. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
11. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
12. Беспаятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: справочник. Л.: Химия, 1985.
13. Алексеев С.В., Н.В. Груздева, А.Г. Муравьев, Э.Г. Гущина. Практикум по экологии: учебное пособие. М.: АО МДС, 1996.
14. Баталов А.Е., Шаврина Е.В. Методические рекомендации к полевой практике по общей экологии: учебное пособие. Архангельск: ПГУ, 2000.
15. Галушко В.В., Карелин О.П., Ксенофонтов В.И. и др. Руководство к лабораторным работам по основам экологии и охране природы: учебное пособие. СПб.: Дрофа, 2005.
16. Кузнецова М.А. Полевой практикум по экологии: учебное пособие. М.: Наука. 1994.
17. ГОСТ 17.2.4.02-81.Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ.
18. Бабич Е.Н., Кучинская И.Р. Оценка качества воздуха с помощью лишайников: учебное пособие. СПб.: Дрофа, 2007.
19. Галушко В.В., Карелин О.Н., Ксенофонтов В.Н., Константинова Л.Н., Белодубровская Г.А., Буданцев А.Л., Клемпер А.В. Руководство к лабораторным работам по «Основам экологии и охране природы»: учебное пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ГХ-ФА, 2005.
20. РД 52.04.792-2014 Массовая концентрация оксида и диоксида азота в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений фотометрическим методом с использованием сульфаниловой кислоты и нафтиламина.
21. Фрумин Г.Т. Загрязнение атмосферного воздуха в городах России и риск здоровью. // Экологическая химия. 2002, №11(2): С.73-77.
22. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. СПб.: АО Дейта, 1997.
23. Башкин В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование: учебник. . 2-е изд. М.: Высшая школа, 2007.

24. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. М.: ИКЦ Академкнига, 2004.
25. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию. СПб.: Химия, 1999.
26. Ваганов П.А. Человек-риск-безопасность. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2000 г.
27. Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А. Теория вероятностей. М.: Наука, 1973.
28. Гаевой А.И., Чепуренко В.Г., Левашова Л.Е., Калабухов Н.П. Справочник по физике. Киев: Наукова думка, 1968.
29. Уравнение регрессии [Электронный ресурс]. URL: <https://math.semestr.ru/corel/corel.php> (дата обращения: 15.12.2017)