

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

*В.И. Биненко<sup>1</sup>, А.А. Ткаченко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, vibinenko@mail.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург

Представлены результаты расчетов вероятности на основе использования пробит-функции для оценки воздействия сероводорода H<sub>2</sub>S на людей на примере происшествия в г. Армянске (Крым) и г. Балашиха (Подмосковье) вблизи полигона отходов «Кучино», а также в случае воздействия диоксида серы SO<sub>2</sub> на жителей г. Сибай (Башкирия) при разной кратности превышения предельно допустимых значений концентрации токсикантов и продолжительности их воздействия.

*Ключевые слова:* пробит-функция, риск, вероятность, экотоксиканты, отходы.

## IMPACT OF TECHNOGENIC AND ENVIRONMENTAL ACCIDENTS ON AIR POLLUTION AND HUMAN HEALTH

*V. I. Binenko<sup>1</sup>, A. A. Tkachenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Scientific-Research Centre for Ecological Safety RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University of Technology and Design, St. Petersburg, Russia

The article presents calculations of probability of human exposure to atmospheric ecotoxicants based on the use of probit function for technogenic environmental accidents having already occurred in the small cities of Armyansk, Balashikha and Sibay. For example, the dependence of the probability of human exposure on the time of exposure to H<sub>2</sub>S toxicant near the Kuchino waste landfill (Balashikha, Moscow region) in the case of 5 to 625 times the maximum permissible H<sub>2</sub>S concentrations (MPC) has been obtained. With 60% probability, a human as a bioindicator will feel the impact in 1000 s at 5 MPC, and in 1 s – at 625 MPC with the same probability. Similar calculations have been made for SO<sub>2</sub> and other toxicants. The SO<sub>2</sub> hazard level is lower than that of H<sub>2</sub>S, so the time interval for exposure to ecotoxicants is longer. In the absence of appropriate devices for monitoring gases at potentially dangerous objects, the considered assessment method can be used for predictive tasks to assess the likelihood of exposure of human health to toxicants at different levels of air pollution and to make management decisions on the advance preparation of means to protect the population. The introduction of the best available technologies, like in the European countries, can increase the level of environmental safety in Russia

*Keywords:* probit function, risk, probability, ecotoxicants, wastes.

**For citation:** Binenko V. I., Tkachenko A.A. Impact of Technogenic and Environmental Accident on Air Pollution and Human Health. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020. 58: 83—93. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-58-83-93

## Введение

В приземном воздухе атмосферы присутствует целый ряд вредных веществ, таких как озон ( $O_3$ ), сероводород ( $H_2S$ ), формальгелид ( $HCOH$ ), диоксид серы ( $SO_2$ ), диоксид азота ( $NO_2$ ), метан ( $CH_4$ ), бенз(а)пирен, взвешенные частицы и др., которые имеют как антропогенное, так и природное происхождение. Если изменчивость концентрации  $SO_2$  в тропосфере в какой-то мере может быть связана с вулканической активностью, а  $CH_4$  — с эмиссией газа из болот и других источников, то в случае других вышеперечисленных вредных веществ она в основном обусловлена хозяйственной деятельностью человека: добычей природных ресурсов, сгоранием автомобильного топлива, работой ТЭЦ и промышленных предприятий, с образованием свального газа от многочисленных мусорных свалок [1—4].

Региональные особенности производственных объектов, использующих несовершенные технологии очистки воздуха, приводят к максимальному загрязнению таких городов РФ, как Норильск, Красноярск, Магнитогорск, Братск и др. В ежегодном государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды» [4] приводятся сведения о качестве воздуха во всех субъектах РФ. В частности, отмечается, что в Норильске выпадает 10 т/(км<sup>2</sup>·год) серы при критической нагрузке серы сульфатной, равной 2 т/(км<sup>2</sup>·год). При этом на долю ГМК «Норильский никель» приходится 1 % общего поступления диоксида серы в атмосферный воздух, или 25 % общероссийских промышленных газовых выбросов.

Работа в Красноярске предприятий алюминиевого производства и тепловых электростанций, работающих на угле, сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, которые составляют около 200 тыс. т, что при неблагоприятных метеорологических условиях приводит к образованию смога (режима «черного неба») в среднем 60 дней в год. Уже к концу июля 2019 г. в Сибири выгорело более 3 млн гектаров леса, и это тоже внесло вклад в загрязнение атмосферного воздуха над Красноярском частицами сажи и оксидом углерода. В Красноярском крае производят захоронение радиоактивных отходов, что тоже представляет дополнительную потенциальную экологическую угрозу.

В воздухе Магнитогорска концентрация бенз(а)пирена, диоксида азота, сероводорода и формальдегида в отдельных районах города превышает ПДК в 5—20 раз. Среднемесячная концентрация без(а)пирена в воздухе г. Братска постоянно превышает ПДК: так, в январе 2017 г. его концентрация достигала 50 ПДК [4]. Ежегодно в Московской области на 41 официальный полигон ТБО вывозится около 11,7 млн т бытовых отходов (7,9 млн т из Москвы). Только 29 марта 2019 г. на полигоне бытовых отходов «Ядрово» в Волоколамском районе выбросы сероводорода сопровождались 12-кратным превышением ПДК, в результате чего было госпитализировано около полусотни детей с жалобами на недомогание, тошноту и рвоту. Такого рода происшествия в Наро-Фоминске, Балашихе приводят к социальным протестам, антимусорным митингам. Планы складирования московского мусора на строящихся полигонах в Шиесе Архангельской области и в других регионах еще более обостряют социально-экологические проблемы РФ. Исследования, выполненные Институтом показателей и оценки здоровья, а также некоммерческой организацией *HealthEffectsInstitute*, показали, что в 2017 г. загрязненный

воздух стал причиной смерти почти 100 тыс. россиян, в Китае и Индии зафиксировано по 1,2 млн смертей, обусловленных этой причиной [5].

Даже эти фрагментарные факты свидетельствуют об ухудшении ситуации с экологической безопасностью в целом ряде промышленно развитых регионов России. Явно недостаточна сеть станций мониторинга окружающей среды. Если в Москве эксплуатируется 54 автоматические станции контроля загрязнения атмосферы, а в Санкт-Петербурге — 25 станций, то в остальных регионах, и особенно в моногородах с градообразующими предприятиями, их на порядок меньше или вообще нет, как, например, в Крыму.

Целью данной работы является оценка рисков, связанных с токсичным воздействием техногенно-экологических происшествий в малых городах, таких как Армянск, Сибай, Никель, Мончегорск, а также в городах вблизи свалок твердых бытовых отходов на основе использования пробит-функции и определения условной вероятности поражения людей при значимых превышениях предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ. Негативное воздействие загрязняющих веществ, в частности, в атмосфере носит вероятностный характер. Вероятность поражения  $P_{\text{пор}}$  (эффект воздействия) измеряется в процентах и определяется по функции Гаусса с использованием пробит-функции:  $P_{\text{пор}} = f[\text{Pr}(S)]$ , где  $\text{Pr}$  — пробит-функция,  $S$  — интенсивность воздействующего фактора [6—8].

### Методы оценки загрязненности атмосферного воздуха

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха обычно используется суммарный санитарно-гигиенический критерий — индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), определяемый по формуле

$$\text{ИЗА} = n \sum_{i=1} (C_i / \text{ПДК}_i)^{k_i},$$

где  $k_i$  — коэффициент, принимающий значения 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 для веществ класса опасности 1, 2, 3, 4 соответственно;  $n$  — число учитываемых компонентов;  $C_i$  — концентрация отдельных компонентов, загрязняющих атмосферный воздух;  $\text{ПДК}_i$  — предельно допустимая концентрация выбранных компонентов.

При расчете ИЗА, обычно учитывают вещества, вносящие наибольший вклад в загрязнение. Чаще всего ИЗА рассчитывают по пяти — семи веществам, вносящим наибольший вклад в загрязнение. Значения  $\text{ИЗА} < 4$  соответствуют чистой атмосфере, 0 — 4 — слабо загрязненной атмосфере, 5 — 6 — повышенному загрязнению атмосферного воздуха; 7 — 13 — высокому загрязнению атмосферы, более 14 — очень высокому загрязнению атмосферы.

Используются следующие варианты предельно допустимой концентрации:

- $\text{ПДК}_{\text{МР}}$  — максимальная разовая концентрация вещества, при которой оно не влияет на живые организмы в течение 20—30 минут;
- $\text{ПДК}_{\text{СС}}$  — среднесуточная концентрация вещества, при которой оно не оказывает отрицательного воздействия на живые организмы за период, равный средней продолжительности жизни людей.

Наземный мониторинг атмосферного воздуха городов проводится на основе газоаналитических методов с погрешностью до 1 млрд<sup>-1</sup> (ppb). Космический

мониторинг вредных веществ в тропосфере над мегаполисами, крупными промышленными конгломерациями (например, г. Норильском) реализован на основе методов оптической абсорбционной спектроскопии с помощью приборов атмосферный инфракрасного радиометра (AIRS) или инфракрасного интерферометра атмосферного зондирования (IASI) с точностью до  $1 \text{ млн}^{-1}$  (ppm) [9, 10].

В 44 городах Российской Федерации (21 % городов, охваченных регулярными наблюдениями за загрязнением атмосферного воздуха), где проживает 13,5 млн человек (12 % всего городского населения РФ), индекс загрязнения атмосферного воздуха очень высокий (ИЗА > 14) [4]. В российской Арктике уровень загрязнения в таких моногородах, как Никель, Мончегорск, Апатиты, несколько ниже, чем в Норильске или Воркуте, но при менее оснащенной газоанализаторами сети мониторинга качества воздуха.

В марте 2019 г. было зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации  $\text{SO}_2$  в Мончегорске в 4,5 раза и десятикратное в г. Никеле Мурманской области, где расположен второй комбинат Кольской ГМК — «Печенга никель», выбросы которого достигают норвежского города Киркенес, расположенного на расстоянии 36 км от Никеля [4]. При этом максимальная разовая концентрация взвешенных частиц составила в Апатитах 2,6 ПДК<sub>МР</sub>, в Воркуте 6 ПДК<sub>МР</sub>, в Норильске 4,6 ПДК<sub>МР</sub>. Наблюдается рост концентрации формальдегида и диоксида серы в г. Мончегорске и поселке городского типа Никель до 2,5 ПДК<sub>МР</sub> и 10,2 ПДК<sub>МР</sub> соответственно, что связано с выбросами АО «Кольская ГМК». Среднегодовая концентрация диоксида серы в Никеле и Мончегорске составила 0,037 и 0,008 мг/м<sup>3</sup> соответственно при ПДК<sub>СС</sub> = 0,05 мг/м<sup>3</sup>, диоксида углерода 0,03 мг/м<sup>3</sup> при ПДК<sub>СС</sub> = 1,95 мг/м<sup>3</sup>. Среднегодовая концентрация формальдегида в Мончегорске составила 0,011 мг/м<sup>3</sup> при ПДК<sub>СС</sub> = 0,1 мг/м<sup>3</sup>, т. е. равнялась 1,1 ПДК<sub>СС</sub> и была выше средней по РФ [4].

Определение ИЗА возможно при наличии базы данных мониторинга загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере и поэтому затруднительно для потенциально опасных объектов в малых городах и поселках. Количественные прогностические оценки для возможных загрязнений можно рассчитать для задаваемых значений концентрации ЗВ, что важно для принятия заблаговременных управленческих решений по снижению риска их воздействия на людей. Такой подход будет рассмотрен ниже на конкретных примерах уже произошедших экологических бедствий.

Для оценки последствий воздействия поражающих факторов, например количества попавшего в организм человека токсикантов, часто применяются стохастические модели с использованием пробит-функции Pr, обратной функции распределения  $P_{\text{пор}}$  случайных величин  $U$ , связанной со стандартным нормальным распределением, для которого математическое ожидание  $\mu = 0$ , а стандартное отклонение  $\sigma^2 = 1$ :

$$P_{\text{пор}} = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^{\text{Pr}} \exp(-0,5U^2) dU.$$

Такой подход наиболее применим при выполнении процессов с двумя переменными типа «воздействие — доза — эффект». При этом Pr является верхним пределом интегрирования приведенного выше уравнения, отражающего связь между вероятностью поражения  $P_{\text{пор}}$  и воздействием — дозой  $U$  [6—8].

В практике вероятностных оценок воздействия поражающих факторов на людей используется пробит-функция, безразмерная величина которой в общем виде представлена зависимостью

$$Pr = a + b \ln S,$$

где  $a$  и  $b$  константы пробит-функции (коэффициенты, зависящие от вида воздействия, его свойств и реципиента);  $S$  — воздействующий фактор, определяемый при токсическом воздействии газов в виде

$$S = C^n t,$$

где  $t$  — эффективное время экспозиции (с);  $C$  — концентрация токсиканта (мг/л, ppm);  $n$  — показатель степени опасности токсиканта (табл. 1).

Таблица 1

Параметры пробит-функции, класс опасности, ПДК<sub>сс</sub> и значения полулетального поражения LC50 людей при воздействии некоторых химических веществ в воздухе

Parameters of the probit function, the hazard class maximum permissible concentrations and the values of LC50-lethal destruction of people when exposed to certain chemicals

Вещество	$a$	$b$	$n$	Класс опасности	ПДК <sub>сс</sub> мг/м <sup>3</sup>	LC50, мг/м <sup>3</sup>
Формальдегид	-12,24	1,30	2,00	2	0,003	500—5000
Сероводород	-31,42	3,008	1,43	2	0,008	500—1000
Диоксид азота	-13,8	1,4	2,00	2	0,04	50—5000
Диоксид серы	-15,67	2,10	1,00	3	0,05	5001—50 000
Оксид углерода	-37,98	3,7	1,00	4	3	Более 50 000
Взвешенные частицы (сажа) PM <sub>2,5</sub>				4	0,025	Более 50 000

Для определения условной вероятности воздействия реципиентов в зависимости от величины пробит-функции Pr (см. табл. 1) используется табл. 2.

Таблица 2

Связь вероятности воздействия  $P_{пор}$  с пробит-функцией Pr

The relation between the probability of impact P with a probit function Pr

$P_{пор}$ , %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,86	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
<b>50</b>	5,00	5,03	5,05	5,08	<b>5,10</b>	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Для разных вредных веществ в атмосферном воздухе пробит-функция имеет разные константы, которые определялись по результатам специальных медико-биологических исследований применительно к среднестатистическому составу населения. Параметры пробит функции, класс опасности, ПДК<sub>СС</sub> и значения полулетального поражения LC<sub>50</sub> людей при воздействии некоторых химических веществ [1, 3, 6—8] приведены в табл. 1. Таблица 2 позволяет определить значение вероятности  $P_{\text{пор}}$ . Так, если значение Pr составит 5,10, то десятичный знак значения  $P_{\text{пор}}$  находим в крайнем левом столбце табл. 2 напротив 5,10, а значение единиц  $P_{\text{пор}}$  — в верхней строке. Таким образом,  $P_{\text{пор}}$  составит 55 %.

### Вероятность токсического воздействия на людей загрязнения воздуха сероводородом вследствие происшествий в городах Армянске и Балашихе вблизи полигона отходов ТБО «Кучино»

В течение двух недель начиная с 25 августа 2018 г. вблизи г. Армянска в Крыму происходил вынос сернистого ангидрида из пересохшего (вследствие отсутствия воды в крымском канале из Днепра и истощения подземных вод) кислотонакопителя, куда сбрасываются химические отходы завода ООО «Крымский Титан», производящего диоксид титана, минеральные удобрения и серную кислоту. Это привело к экологической катастрофе.

В районе кислотонакопителя площадью 42 км<sup>2</sup> концентрация H<sub>2</sub>S составляла от 30 до 10 ПДК. В г. Армянске, который находится на расстоянии 10 км от завода ООО «Крымский Титан» уровень загрязненности H<sub>2</sub>S в отдельные дни достигал 5—15 ПДК.

Вероятность поражения людей H<sub>2</sub>S определялась с использованием пробит-функции для токсического поражения. Константы для H<sub>2</sub>S имеют следующие значения:  $a = -31,42$ ;  $b = 3,008$ ;  $n = 1,43$ ; ПДК = 8 мг/л. Концентрация сероводорода в воздухе г. Армянска превысила ПДК в пять раз, а в некоторых районах, наиболее близких к заводу ООО «Крымский Титан», были зафиксированы концентрации, превышающие ПДК в 10 раз и больше.

В соответствии с формулой для пробит-функции получаем:

$$C_{\text{мг/л}} = 5 \text{ ПДК} = 40 \text{ мг/л},$$

$$\text{Pr} = a + b \ln(C^n t) = -31,42 + 3,008 \ln(40^{1,43} \cdot 300) = 1,6,$$

а вероятность воздействия  $P_{\text{пор}}$  в зависимости от времени представлена на рис. 1 а и в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость условной вероятности воздействия на людей  $P_{\text{пор}}$  от времени поражения токсикантом H<sub>2</sub>S

The dependence of the conditional probability of exposure duration of exposure toxicants H<sub>2</sub>S

$t$ с .....	300	600	900	1200	1500	1800
$\text{Pr}$ .....	1,60	3,69	4,91	5,77	6,45	6,99
$P_{\text{пор}}$ % .....	0	10	46	78	93	98



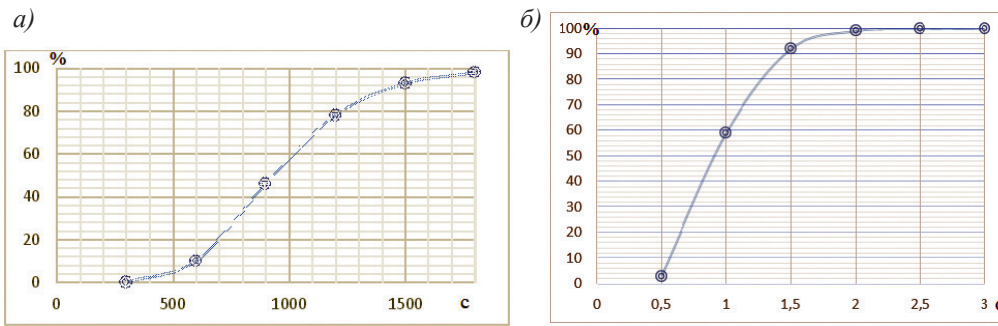


Рис. 1. Зависимость условной вероятности  $P_{\text{пор}}$  (%) воздействия на людей от времени поражения токсикантом  $\text{H}_2\text{S}$ .

а) в Армянске при 5 ПДК, б) вблизи полигона «Кучино» (г. Балашиха) при 625 ПДК.

Fig.1. The dependence of the conditional probability of exposure to humans from the time of defeat toxicant  $\text{H}_2\text{S}$ .

а) in Armyansk at 5 permissible concentration,

б) near the landfill “Kuchino” Balashikha in the suburbs 625 permissible concentration.

Зависимость условной вероятности воздействия на людей от времени поражения токсикантом  $\text{H}_2\text{S}$  от полигона «Кучино» вблизи г. Балашиха в Подмосковье приведена на рис. 1 б. В июне 2017 г. загрязнение атмосферного воздуха сероводородом от полигона ТБО «Кучино» достигало 625 ПДК.

Из рис. 1 следует, что чем выше продолжительность пребывания в зоне воздействия токсиканта  $\text{H}_2\text{S}$ , тем выше риск поражения. Чем выше кратность превышения ПДК  $\text{H}_2\text{S}$ , тем это воздействие на людей ощущается за более короткий период и на больших расстояниях от источника  $\text{H}_2\text{S}$ .

Полигон ТБО «Кучино», расположенный на расстоянии 1 км от г. Балашиха в Подмосковье, был закрыт 23 июня 2017 г. из-за запредельного загрязнения  $\text{H}_2\text{S}$  (625 ПДК). Вдыхание воздуха, загрязненного  $\text{H}_2\text{S}$ , воздействует на нервную систему, вызывает сильные головные боли, сыпь на руках, жжение в глазах, судороги (при концентрации от  $6 \text{ mg/m}^3$ ), а при концентрации более  $1000 \text{ mg/m}^3$  может привести к коме. На рис. 2 б приведена зависимость условной вероятности воздействия на людей от времени поражения токсикантом  $\text{H}_2\text{S}$  вблизи полигона «Кучино» (г. Балашиха, Подмосковье) при его концентрации, равной 625 ПДК. При концентрации  $\text{H}_2\text{S}$ , равной 5 ПДК, с вероятностью 60 % человек как биоиндикатор почувствует воздействие через 1000 с, а при 625 ПДК с той же вероятностью — через 1 с.

#### Экологическое бедствие в г. Сибай (Башкирия), связанное с загрязнением атмосферного воздуха диоксидом серы

С 12 декабря 2018 г. и до конца марта 2019 г. над г. Сибай наблюдался смог, вызванный окислительными процессами эндогенного характера и тлением рудной породы в двух очагах на южном и северном бортах заброшенного медно-цинкового карьера (рис. 2) на глубине 400—450 м. Глубина карьера составляет около 500 м,



Рис. 2. Медно-цинковый карьер вблизи г. Сибай.

*a)* вид из космоса (Google Earth); *б)* испарение диоксида серы от карьера, январь 2019 г.

Fig. 2. A picture of a copper-zinc quarry near Sibai.

*a)* from space (Google Earth), *б)* in January 2019, when sulfur dioxide soars from it.

диаметр — около 2 км. Город расположен на расстоянии 500 м от карьера, поэтому на ближайших к карьеру улицах в отдельные дни были зарегистрированы значения концентрации диоксида серы, в 23 раза превышающие ПДК. На загрязнении воздуха также сказывалась работа местных предприятий — завода буровых реагентов и Учалинского горно-обогатительного комбината (УГМК). При этом в регионе установилась погода с нисходящими потоками воздуха и со слабым ветром, что привело к продолжительному ухудшению экологической обстановки в г. Сибай [11].

Вероятность воздействия на людей диоксида серы также определялась с использованием пробит-функции для токсического поражения.

Значение констант для  $SO_2$ :  $a = -15,67$ ;  $b = 2,1$ ;  $n = 1$ ; ПДК  $SO_2 = 8$  мг/л;

ПДК  $SO_2 = 50$  мг/л; 5 ПДК  $SO_2 = 250$  мг/л;

$Pr = a + b \ln(C^n t) = -15,67 + 2,1 \ln(250^1 \cdot 600)$ .

В табл. 4 приведены выбранные значения концентрации  $SO_2$  и кратность превышения ПДК  $SO_2$  для расчета вероятности, а на рис. 3 — зависимость условной

Таблица 4

Значения концентрации  $SO_2$  и кратности превышения ПДК  $SO_2$   
для расчета условной вероятности поражения

Selected values of  $SO_2$  concentration and multiplicity of permissible concentrations excess  $SO_2$

Концентрация, мг/л	Кратность превышения ПДК
300	6
400	8
500	10
600	12
1150	23



вероятности воздействия  $\text{SO}_2$  от времени экспозиции.

Расчет условной вероятности  $P_{\text{пор}}$  воздействия  $\text{SO}_2$  на людей в случае техногенно-экологического происшествия в г. Сибай показал, что при концентрации  $\text{SO}_2$ , равной 23 ПДК, вероятность воздействия на людей через 50 с составила 80 %.

Вышеприведенные примеры и результаты расчетов воздействия атмосферных токсикантов на людей при различной их концентрации далеки от полуметальных значений поражения, приведенных в табл. 1. Тем не менее они обостряют экологическую ситуацию в малых городах типа г. Си-

бай, вызывают рост заболеваемости пневмонией среди детей до 17 лет. Число случаев таких заболеваний, как кашель, аллергии, отеки легких у взрослых людей, в 2019 г. возросло в несколько раз по сравнению 2014—2018 гг. [11].

Аналогичные расчеты были проведены также в случае бензолового испарения над полигоном «Красный бор» в Ленинградской области, парения аммиака и сероводорода в районе ЗАО «Птицефабрика Оренбургская».

Подобные расчеты позволяют определить на основе применения проби-функции возможную вероятность воздействия токсикантов на здоровье людей при разных уровнях загрязнения атмосферного воздуха от потенциально опасных объектов, таких как полигоны ТКО, мусоросжигательные заводы или другие производства. На основе этих оценок можно принимать меры по предотвращению экологических бедствий, а в случае техногенно-экологических происшествий, основываясь на уже заранее подготовленных технологических решениях, предпринять меры по ликвидации их последствий и защите населения от загрязняющих веществ при значимых превышениях ПДК экотоксикантов [12, 13].

### Заключение

Для малых моногородов с загрязненным атмосферным воздухом необходимо совершенствовать независимую от соответствующих монополистов систему мониторинга с использованием многоканальных газоанализаторов наиболее опасных экотоксикантов. В частности, к таким приборам относятся газоанализаторы Picarro, в основе работы которых лежит метод *WS-CRDS (Wave length Scanned Ring Down Spectroscopy)* — спектроскопия поглощения света в многопоточных неаксиальных кюветах при сканировании на резонансных длинах волн в ИК области спектра.

Были выполнены расчеты зависимости условной вероятности воздействия на людей от времени поражения сероводородом  $\text{H}_2\text{S}$  в г. Армянске (Крым), вблизи

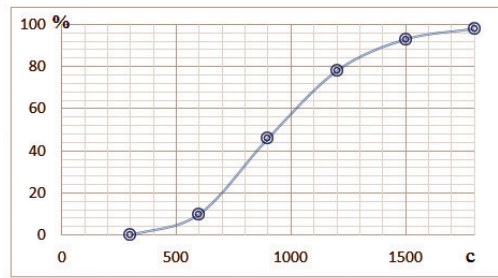


Рис. 3. Зависимость условной вероятности  $P_{\text{пор}}$  воздействия на людей токсиканта  $\text{SO}_2$  от времени его экспозиции.

Fig. 3. The dependence of the conditional probability  $P_{\text{пор}}$  is high impact on people from the time of toxicant exposure to  $\text{SO}_2$ .

полигона «Кучино» (г. Балашиха, Подмоскowie) и при разных значениях превышения ПДК  $\text{SO}_2$  в случае экологического бедствия в г. Сибай (Башкирия).

Было показано, что чем выше продолжительность пребывания людей в зоне воздействия токсиканта  $\text{H}_2\text{S}$  и чем выше кратность превышения ПДК его концентрацией, тем выше риск поражения. При концентрации  $\text{H}_2\text{S}$ , равной 5 ПДК, с вероятностью 60 % человек как биоиндикатор почувствует воздействие через 1000 с, а при 625 ПДК с той же вероятностью — через 1 с. Сернистый ангидрид в высоких концентрациях способен вызвать удушье, ожог слизистой, поражение печени, заболевания крови.

Расчетная зависимость условной вероятности  $P_{\text{пор}}$  поражения людей от времени воздействия токсикантом  $\text{SO}_2$  от медно-цинкового карьера в случае техногенно-экологического происшествия в г. Сибай показало, что при концентрации  $\text{SO}_2$ , равной 23 ПДК, вероятность воздействия на людей составила 80 % уже через 50 с.

Захоронение отходов ТКО в РФ без должной переработки приводит к выбросам биогазов и их негативному влиянию на людей и окружающую среду. Следует брать пример с таких стран, как Финляндия, Швеция, Австрия, и других стран Европы, где реализована почти 100 %-ная переработка мусора на основе раздельного сбора и использования современных технологий на мусороперерабатывающих заводах [13].

### Список литературы

1. Р 1.2.3156-13. Оценка токсичности и опасности химических веществ и их смесей для здоровья человека. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 639 с.
2. Биненко В.И., Северюхина А.С. Изменчивость концентрации метана в атмосфере над Санкт-Петербургом и близлежащими регионами // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 50. С. 137—151.
3. Биненко В.И., Храмов Г.Н., Яковлев В.В. Чрезвычайные ситуации в современном мире и проблемы безопасности жизнедеятельности. СПб, 2004. 400 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.
5. Idir Bouarar, Xuemei Wang, Guy P. Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective. Brasseur-Editors ISSI // Scientific Report Series. V. 16. Springer International Publishing AG, 2017. 498 p. doi 10.1007/978-3-319-59489-7
6. Чура Н.Н. Техногенный риск. Учебное пособие / Под ред. В.А. Девисилова. М: Кнорус, 2015. 280 с.
7. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МГУ, 2004. 124 с.
8. Кузьмина М.С. Методы прогноза вероятности причинения ущерба человеческим и материальным ресурсам // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. Вып. 9. С. 1—12.
9. Bauduin S. et al. Retrieval of near-surface sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) concentrations at a global scale using IASI satellite observations // Atmos. Meas. Tech. 2016. V. 9. P. 721—740. <https://doi.org/10.5194/amt-9-721-2016>
10. Fioletov V. et al. Multi-source  $\text{SO}_2$  emissions retrievals and consistency of satellite and surface measurements with reported emissions // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17. P. 12 597—12 616. doi: 10.5194/acp-17-12597-2017.
11. Медведев Н. Экологическая ситуация в Сибай. Дата обращения: <https://readovka.news/news/43374.25.03.19>
12. Венцюлис Л.В., Чусов А.Н. Твердые коммунальные отходы — одна из основных экологических проблем в России. СПб: изд-во СПбПУ, 2017. 208 с.
13. Наилучшие доступные технологии и комплексные экологические разрешения: перспективы применения в России / Под ред. М.В. Бегака. М.: ООО «ЮрИнфоР-Пресс», 2010. 220 с.

### References

1. R 1.2.3156-13 otsenka toksichnosti i opasnosti khimicheskikh veshchuyem i smeseyi dly zdoroviy ludey. R 1.2.3156-13 evaluation of the toxicity and hazards of chemicals and mixtures to human health. Moscow, 2014: 649 p. [In Russian].
2. Binenko V.I., Khramov G.N., Yakovlev V.V. *Chrezvychnyi situatszii v sovremennom mire i problem zhiznedeystvennosti*. Emergency situations in the modern world and problems of life safety. SPb. SPb Polytechnic University publishing house, 2004:400 p. [In Russian].
3. Binenko V.I., Severiyukhina A.S. Variability of methane concentration in the atmosphere over St. Petersburg and nearby regions. *Uchenye zapiski RSHU*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2018, 50:137—151. [In Russian].
4. Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii i ohrane okruzhayushchey sred v Russkoy Federatsii v 2017». State report «On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2017» Moscow: Ministry of natural resources of Russia. NCE «Kadast», 2018:888 p. [In Russian].
5. Idir Bouarar, Xuemei Wang, Guy P. Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective Brasseur-Editors ISSI. Scientific Report Series. V. 16. Springer International Publishing. AG. 2017:498. doi 10.1007/978-3-319-59489-7
6. Chura N. N. *Tehnogennyi risk*: Technogenic risk: textbook. Under the editorship of V.A. Devisilov. M: KnoRus, 2015: 280 p. [In Russian].
7. Shvyryayev A.A., Menshikov V.V. *Otsenka riska zagryzneniy atmosfery v issleduevov regione*. Assessment of the risk of atmospheric pollution in the study region: textbook for universities. Moscow: MSU publishing House, 2004: 124 p. [In Russian].
8. Kuzmina M.S. Methods of forecasting the probability of damage to human and material resources. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsiy*. Engineering journal: science and innovation. 2014, 9:1—12. [In Russian].
9. Bauduin S. et al. Retrieval of near-surface sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) concentrations at a global scale using IASI satellite observations. *Sophie Bauduin and Lieven Clarisse, Juliette Hadji-Lazaro, Nicolas Theys, Cathy Clerbaux, and Pierre-François Coheur*. Atmos. Meas. Tech., 2016. 9: 721-740. doi.org/10.5194/amt-9-721-2016, 2016
10. Fioletov V. et al., Multi-source emissions of SO<sub>2</sub> retrievals and consistency of satellite and surface measurements with reported emissions. *V. Fioletov and McLinden, C.A., Kharol, S.K., Krotkov, N.A., Li, C., Joiner, J., Moran, M.D., Vet, R., and Visschedijk, A.J.H. and Denier van der Gon, H.A.C.* Atmos. Chem. Phys. 2017. 17: 12597-12616. doi: 10.5194/acp-17-12597-2017.
11. Medvedev N. Environmental situation in Sibay / Date of access: <https://readovka.news/news/4337425.03.19>
12. Vinchulis L.V. *Tverdye othody glavnay problem okruzhayushchei sredy v Rossii*. Solid waste-one of the main environmental problems in Russia. Ed. L.V. Vinchulis, A.N.Chusov. SPb. Polytechnic University publishing house SPBPU, 2017:208 p. [In Russian].
13. *Nailuchshii dostupnye tehnologii i kompleksnye ekologicheskie resheniy: perspektivy primeneniya v Rossii*. The best available technologies and integrated environmental permits: prospects of application in Russia. Ed. M.V. Begak. Moscow: «YurInfo for-Press», 2010: 220 p. [In Russian].

Статья поступила 11.09.2019

Принята после доработки в печать 12.03.2020

### Информация об авторах

Биненко Виктор Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник СПб НИЦЭБ РАН, e-mail: vibinenko@mail.ru

Ткаченко Алина Александровна, бакалавр СПбГУПТД, e-mail: akalikinaka@mail.ru

### Information about authors

Victor I. Binenko, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Leading Researcher, SRCES RAN

Alina A. Tkachenko, bakalavr SpbSUPTD, e-mail: akalikinaka@mail.ru