

УДК: 502.3

ОЦЕНКИ РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ КАК УГРОЗЫ УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ТЕРРИТОРИЙ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

© 2016 А.А. Хадарцев, А.Г. Хрупачев, Л.В. Кашинцева, А.В. Волков

Тульский государственный университет

Статья поступила в редакцию 29.10.2016

Рассмотрены основания и результаты оценки риска жизнедеятельности населения урбанизированных территорий, обусловленные воздействием основных загрязнителей атмосферного воздуха и продуктов их трансформации, выделены особенности воздействия мелкодисперсной пыли на организм человека с позиции формирования общей картины заболеваемости, указаны технологии снижения аэрологических рисков индустриального природопользования.

Ключевые слова: *геоэкология, природопользование, устойчивое развитие, риски, приземная атмосфера, наноразмерная пыль, перенос, заболеваемость населения*

В г. Туле основными источниками загрязнения атмосферы являются предприятия металлургии (90%), машиностроения, нефтехимии, газовой промышленности и стройиндустрии, а также котельные. Озабоченность гигиенистов вызывает загрязнение воздуха соединениями тяжёлых металлов. По объёму выбросов в атмосферу от стационарных источников область занимает первое место в ЦФО, а по объёму стоков – третье, уступая лишь Москве и Ярославской области. Подтверждена зависимость уровня заболеваемости органов дыхания, сердечно-сосудистых и онкологических патологий, сокращения общей продолжительности жизни от состояния окружающей среды. По указанным критериям здоровье населения Тулы хуже, чем в областных центрах соседних регионов. Однако существующий уровень здоровья, согласно практике оценивания, недостаточен для того, чтобы претендовать на статус зоны чрезвычайной экологической ситуации федерального значения [3]. Оценки уровня загрязнения атмосферы крупнейших городов РФ канцерогенными и неканцерогенными веществами выполнена профессором Б.А. Ревичем на основе данных Роскомгидромета [6].

В группу неканцерогенных соединений объединяют взвешенные вещества (аэрозоли), диоксиды азота и серы, оксид углерода и другие

компоненты, типичные для воздушной среды селитебных территорий. Например, согласно существующей практике, в российских городах регистрируется лишь общее содержание взвешенных веществ и отсутствует контроль за наиболее опасной – респираторной – фракцией. При этом их высокие концентрации на протяжении десятилетий наблюдаются в воздухе 50 городов, включая Тулу (на уровне 250-300 мкг/м³ при ПДК_{с.с.}=150 мкг/м³). Среднегодовые концентрации аэрозолей в воздухе городов мира таковы (мкг/м³): Калькутта – 270-550; Барселона – 216; Нижний Новгород – 180; Санкт-Петербург, Самара – 160; Лиссабон, Сидней, Варшава – 90-160; Москва – 100; Лион, Париж – 82. Определена приблизительная численность населения РФ, проживающего на загрязнённых территориях (рис. 1). Так, в условиях высокого аэрозольного загрязнения атмосферы проживает более 15 млн. человек, а общее количество преждевременных смертей от заболеваний органов дыхания превышает 16000 человек или 7% ежегодно регистрируемых случаев. Ежегодное удельное – на 1 млн. человек – количество смертей в расчёте на 1 мкг/м³ аэрозолей составляет 4 случая, но варьирует от города к городу в диапазоне от 0,8 до 17 случаев. Значительный вклад в общую смертность, связанную с загрязнением воздуха, вносят диоксиды азота [1].

Риск смерти от аэрозольного загрязнения воздуха оценивается как высокий, соизмеримый с риском смерти от хронического бронхита, самоубийств, убийств и в результате всех несчастных случаев. Риск смерти от диоксида азота сопоставим со смертностью от диабета и хронического алкоголизма. Вклад неканцерогенных компонентов в общую смертность от загрязнения атмосферы является определяющим и может достигать 90%. Вклад канцерогенных веществ,

Хадарцев Александр Агубечирович, доктор медицинских наук, профессор, директор медицинского института. E-mail: medins@tsu.tula.ru

Хрупачев Александр Геннадьевич, доктор технических наук

Кашинцева Лариса Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии, охраны труда и окружающей среды

Волков Артем Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры аэрологии, охраны труда и окружающей среды

как правило, составляет 1-3% и не превышает 10% общей смертности.



Рис. 1. Приблизительная численность населения РФ, проживающего на территориях, загрязнённых канцерогенными и неканцерогенными веществами

Особую опасность представляют наноразмерные частицы. Нижнюю границу диапазона формируют объекты размером 1-4 нм, а верхнюю границу – частицы низкомолекулярных соединений размером до 10 нм и высокомолекулярных соединений размером до 100 нм (0,1 мкм) [4,6]. Поражающее воздействие наночастиц связывают с высокой концентрацией в воздухе при незначительном количестве распыляемого вещества; высокой химической и каталитической активностью; способностью к ингаляционному, трансдермальному, транснейральному и энтеральному проникновению в ткани и органы человека, включая ядра клеток и центральную нервную систему.

Материалы и методы исследования. Тульским государственным университетом проводятся многолетние исследования источников и механизмов загрязнения приземной атмосферы территорий Тульского края канцерогенными и неканцерогенными веществами, включая аэрозольные частицы (пыль), и продуктами их трансформации с целью среднесрочной оценки рисков формирования заболеваемости персонала и населения в контексте проблемы устойчивого регионального развития [2].

Для оценки влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека разработан универсальный, не имеющий мировых аналогов, программно-вычислительный комплекс «Эко-Риск», предназначенный для вычислительных экспериментов по исследованию качественных и количественных характеристик риска по математическим моделям. При этом определяются параметры риска, как для отдельного загрязняющего вещества, источника или нозологической формы заболевания, так и для интегральной

оценки популяционного риска заболеваемости населения, проживающего в различных районах города, а также определяется вероятность локального загрязнения в любой точке города.

Результаты расчетов по программе «Эко-Риск» показали превышение среднегодовых ПДК на всей территории города Тулы, что свидетельствует о вероятности развития неблагоприятных последствий для здоровья населения. В основу методики расчета, базирующейся на параметрической зависимости «концентрация (доза) – ответ», положена информация о гигиенических нормативах (ПДК, класс опасности и других) [7]. В зарубежных работах аналогом функции «доза-ответ» является C-R функция (закон Хабера устанавливает связь дозы или концентрации вещества C и риска возникновения неблагоприятного эффекта R), которая используется на государственном уровне при количественном анализе влияния массовых загрязнителей: CO, NO₂, SO₂, O₃ и взвешенных частиц (PM) на здоровье [7].

Оценка риска вредного воздействия доминирующих загрязнителей воздуха SO₂ и NO₂, в виде дополнительных случаев заболеваний органов дыхания и системы кровообращения населения г. Тулы, была выполнена по трем известным методикам. Результаты расчетов показали высокую сходимость полученных показателей заболеваемости, которая лежит в интервале от 70628 до 72549 случаев в год, то есть погрешность не превышает 1%.

Уровень заболеваемости раком легкого среди населения Тулы очень высокий. Имеющиеся результаты исследований [8] позволили установить, что причиной возникновения рака легкого являются частички металлов, относящиеся к группе переходных элементов (Fe, Mn, Ni, Cr, Zn, Ti). Для установления закономерностей трансформации техногенных выбросов, анализировалась совокупность газофазных, жидкофазных, каталитических и фотохимических процессов, протекающих в атмосферном воздухе населенных мест. Эта задача была решена благодаря применению метода дифференциальной оптической спектроскопии.

Результаты и их обсуждение. По результатам непрерывных измерений химического состава приземного слоя атмосферного воздуха впервые построена модельная схема динамики суточных превращений соединений азота и кислорода, и дано научное описание физико-химических процессов, присущих каждому временному интервалу в определенный месяц года (рис. 2).

С целью определения качественного и количественного состава образующихся аэрозолей, методом атомно-абсорбционной спектроскопии был проведен анализ снежного покрова зимы

2009-2010 года в трех различных точках г. Тулы. Теоретическим обоснованием правильности выбора такого способа является то, что получаемая из снега вода растворяет находящиеся в ней вещества с образованием истинных молекулярных растворов. Номенклатура полученного химического состава снеговых проб представлена в табл. 1.

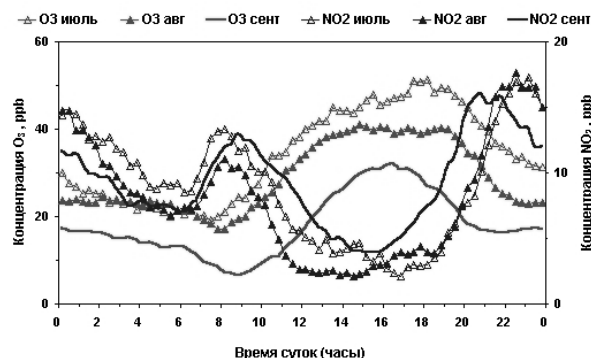


Рис. 2. Динамика суточных и сезонных превращений NO_2 и O_3 в приземном слое атмосферы

Таблица 1. Результаты анализа проб снежного покрова в г. Туле

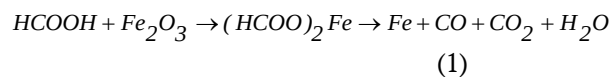
Вещество	Точка отбора		
	ул. Оборонная	пр. Ленина	ул. Мира
	мг/л		
NO_3^-	9	9	8,7
NH_4^+	2,6	2,5	2,4
Cu	0,05	0,05	0,04
Fe	0,035	0,037	0,027
Zn	0,12	0,075	0,065
Cr	0,008	0,005	0,0045
Mn	0,02	0,025	0,025
Ni	0,006	0,005	0,005
V	0,011	0,006	0,006

Как видно из нижеприведённого расчёта, молярные концентрации ионов аммония и нитратной группы совпадают, то есть в воде растворен нитрат аммония:

$$\begin{aligned} \text{ул. Оборонная} \quad \frac{c(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} &= \frac{9}{62} = 0,145 \text{ ммоль / л}, \quad \frac{c(\text{NH}_4^+)}{M(\text{NH}_4^+)} = \frac{2,6}{18} = 0,144 \text{ ммоль / л}, \\ \text{пр. Ленина} \quad \frac{c(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} &= \frac{9}{62} = 0,145 \text{ ммоль / л}, \quad \frac{c(\text{NH}_4^+)}{M(\text{NH}_4^+)} = \frac{2,5}{18} = 0,138 \text{ ммоль / л}, \\ \text{ул. Мира} \quad \frac{c(\text{NO}_3^-)}{M(\text{NO}_3^-)} &= \frac{8,7}{62} = 0,140 \text{ ммоль / л}, \quad \frac{c(\text{NH}_4^+)}{M(\text{NH}_4^+)} = \frac{2,4}{18} = 0,133 \text{ ммоль / л}, \end{aligned}$$

Все присутствующие в снеговых пробах ионы металлов представлены переходной группой, являющейся провокатором рака легкого. В тоже время, в выбросах металлургических предприятий металлы находятся в связанном виде, как правило, в форме оксидов. Существует механизм образования свободных форм металлов (*in situ*). Данный процесс связан с трансформацией формальдегида в количествах превышающих

ПДК. Сущность данного процесса заключается в переходе формальдегида в муравьиную кислоту: $\text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH}$, которая реагируя с оксидами металлов, образует формиаты, распадающиеся в дальнейшем на воду, оксиды C(II) и C(IV), свободные металлы (1), так например данный механизм превращения присущ всем металлам переходной группы, представляющим собой прекрасные комплексообразователи:



Это свойство металлов переходной группы является причиной образования сложных комплексных соединений вида $[\text{Me}(\text{NH}_4)_n] \text{NO}_3$. В дальнейшем уже сами комплексы в результате процессов коагуляции и конденсационного роста превращаются в наномолекулярные кластеры, проникающие в легкие. Вся перечисленная совокупность физико-химических процессов, протекающих в атмосферном воздухе крупных индустриально-городских образований, позволяет понять сущность факта накопления строго определенного перечня металлов в легочных альвеолах.

Сами по себе ионы этих металлов попасть в альвеолы легких не могут, так как, согласно данным исследования ВОЗ о фракционном осаждении, они в силу своих размеров, должны были осесть в верхних дыхательных путях, и вынесены мерцательным эпителием. А в альвеолах осаждаются частицы размером до 100 нм [8]. Методом лазерного зондирования удалось определить, что размеры образующихся аэрозолей в результате трансформации NO_2 в атмосферном воздухе Берлина составляют в среднем 80 нм [9]. Таким образом, образующиеся в процессе трансформации загрязняющих веществ металлосодержащие наномолекулярные кластеры, локализуются в альвеолах легких.

Процессу накопления металлов в альвеолах предшествует распад комплекса $[\text{Me}(\text{NH}_4)_n]\text{NO}_3$ во влажной среде легкого на отдельные ионы, каждый из которых начинает оказывать свое специфическое воздействие на органы и системы человека в результате третичной внутриклеточной трансформации загрязняющих веществ. Так, нитрат-ион, попадая в кровеносное русло, восстанавливается гемоглобином крови и железосодержащими ферментными системами гладкомышечных клеток до оксида N(II). Это вызывает расслабление гладких мышц сосудов и локальную ауторегуляцию кровотока (эффект нитроглицерина). Но постоянное, хроническое воздействие NO приводит не только к «привыканию», в результате чего может развиваться гипертоническая болезнь, но и к подавлению NO-синтазы

аргинином – аминокислотой участвующей в образовании необходимых человеку белков, гормонов, ферментов, во множестве обменных процессах и выполняющей ряд защитных функций.

Закономерности формирования пылевого загрязнения приземной атмосферы изучены на примере территории старейшего лечебного учреждения Тулы – Больницы скорой помощи имени Д.Я. Ваныкина, расположенной в Центральном районе города. В качестве источника крупнодисперсной пыли выступает ближайшая к лечебному учреждению крупная транспортная артерия, а поступление мелкодисперсной пыли связано с динамикой регионального фона. В условиях действия внешних факторов миграции генерируемая различными источниками пыль вовлекается в перенос, далее осаждается на техногенном механическом геохимическом барьере и формирует изучаемую аэрологическую ситуацию. Изучаемый геохимический сигнал, или поле, представлялся суммой низкочастотной фоновой и более высокочастотной диагностической компонент (рис. 3). Каждая компонента несёт свою долю информации о механизмах формирования аэрологической ситуации.

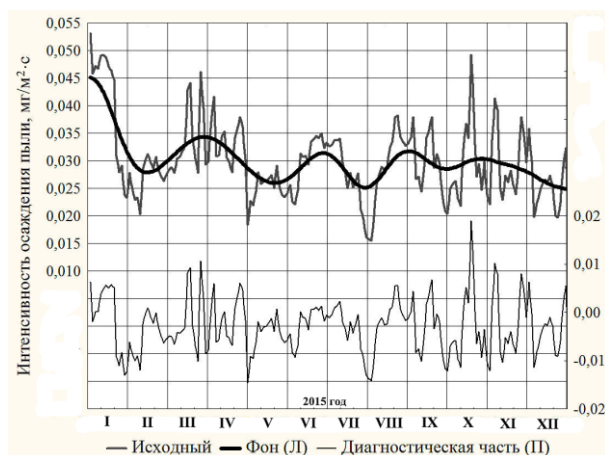


Рис. 3. Сезонная динамика диагностической и фоновой компонент интенсивности осадения инертной пыли в районе лечебного учреждения

Разделение исходного геохимического поля на несколько компонент позволила реализовать метод формального детектирования аномальных, в том числе наиболее опасных с точки зрения воздействия на организм человека и живые компоненты селитебной территории, фаз сезонного хода запылённости воздуха (рис. 4). Речь идёт о стандартном для геоэкологии методе «трёх сигм». В частности, чем более высокий критический уровень преодолевает график запылённости воздуха, тем выше риски жизнедеятельности человека.

Разработка рекомендаций по снижению запылённости атмосферы селитебных территорий должна учитывать опыт подобных работ,

накопленный в индустрии добычи и переработки минерального сырья. Так, решение задачи улучшения аэрологической ситуации регионов индустриального природопользования может опираться на следующие технологии: очистку дорог с постоянным движением от пыли и орошение дорожного покрытия; предотвращение просыпания сыпучих материалов; герметизацию жилых и рабочих помещений; рекультивацию раздёрнованных участков жилой и промышленной застройки, в том числе на технологии формирования стойких к воздушной эрозии покрытий и изменения аэродинамического режима участков, например, путём посадки деревьев и кустарников.

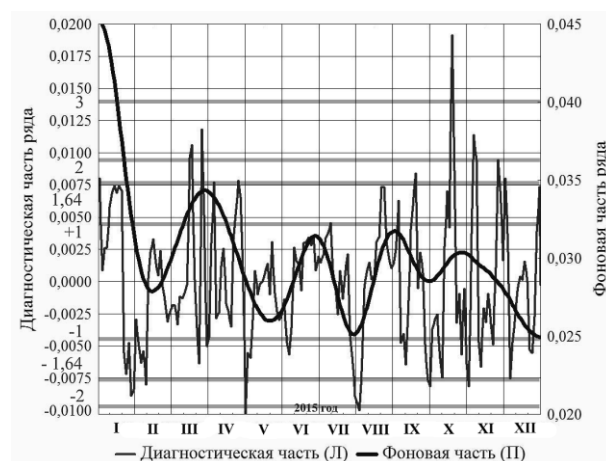


Рис. 4. Формальное детектирование рисков жизнедеятельности человека, определяемых сезонным ходом запылённости приземной атмосферы

Выводы: проведенными исследованиями показан факт хронической интоксикации органов и систем организма продуктами трансформации NO_2 в атмосфере. Причиной недооценки его негативного воздействия на здоровье человека является то, что нормативное среднегодовое значение ПДК – 40 мкг/м^3 – установлено по зависимости от газообразной формы NO_2 . А в качестве долговременного норматива по взвешенным веществам класса $\text{PM}_{2,5}$, согласно исследованиям Американского противоракового Общества (ACS), рекомендована среднегодовая концентрация в 10 мкг/м^3 . Установлены закономерности формирования сезонного хода запылённости приземной атмосферы в районе старейшего лечебного учреждения Тулы, выступающие эмпирической основой разработки общих рекомендаций, снижающих риски жизни и деятельности персонала и населения. Общепринятые методологические подходы к оценке загрязнения воздушной среды территорий индустриального природопользования с позиций исключения вредного воздействия на персонал и население несовершенно и требуют кардинальной переработки с учетом процессов трансформации промышленных выбросов в атмосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Адайкин, В.И. Новый метод идентификации хаотических и стохастических параметров экосреды / В.И. Адайкин, М.Я. Брагинский, В.М. Еськов и др. // Вестник новых медицинских технологий. 2006. Т. 13, №2. С. 39-41.
2. Быковский, Ю.А. Характеристики депонирования тяжелых элементов в легочные ткани человека / Ю.А. Быковский, Е.П. Плешанова, П.Г. Плешанов и др. // Вестник новых медицинских технологий. 2000. Том 7, № 2. С. 105–106.
3. Машинцов, Е.А. Математические модели и методы оценки экологического состояния территорий / Е.А. Машинцов и др. – М.: Изд. физико-математической литературы, 2010. 228 с.
4. Производственная безопасность и профессиональное здоровье: учебник / Под ред. А.Г. Хрупачева, А.А. Хадартцева. – М.: Изд. Геотар, 2012. 360 с.
5. Ревич, Б.А. Загрязнение воздуха как фактор смертности в городах России / Б.А. Ревич, А. Быков // Население и общество: Информационный бюллетень Центра демографии и экологии человека Института народохозяйственного прогнозирования РАН. 1997. № 22.
6. Супотницкий, М.В. Нанообъекты как новая биологическая угроза. 2001. URL: <http://www.supotnitskiy.ru/stat/stat113.htm> (дата обращения: 18.01.2016)
7. Burnett, R.T. The role of particulate size and chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardiorespiratory diseases / R.T. Burnett, S. Cakmak, J.R. Brook, D. Krewsk // Environ. Health Perspect. 1997. V. 105, №6. P. 614-620.
8. Lippmann, M. Респираторная система. Строение и функции. Энциклопедия по безопасности и охране труда MOT. URL: <http://base.safework.ru/iloenc?d&nd=857400016&prevDoc=857000002>.
9. Spielvogel, J. Comprehensive Nanoparticle Measurement Campaign on the Frohnau Tower in Berlin / J. Spielvogel, M. Pesch, L. Keck, H. Grimm // Nanotech Europe. 2009. 324 p.

RISK ASSESSMENTS OF GROUND ATMOSPHERE POLLUTION AS THREATS TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TERRITORIES OF INDUSTRIAL NATURE MANAGEMENT

© 2016 A.A. Khadartsev, A.G. Khrupachev, L.V. Kashintseva, A.V. Volkov

Tula State University

The bases and results of a risk assessment of the population activity on the urbanized territories caused by impact of the main pollutants of atmospheric air and products of their transformation are considered. Features of impact of fine dust are marked out for a human body from a line item of forming of an overall picture of incidence. Technologies of decrease in aerological risks of industrial environmental management are specified.

Key words: *geoecology, environmental management, sustainable development, risks, ground atmosphere, nanodimensional dust, transfer, population morbidity*

Alexander Khadartsev, Doctor of Medicine, Professor, Director of the Medical Institute. E-mail: medins@tsu.tula.ru

Alexander Khrupachev, Doctor of Technical Sciences

Larisa Kashintseva, Candidate of Technical Science,

Associate Professor at the Department of Aerology,

Labour and Environment Protection

Artyom Bolkov, Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Aerology,

Labour and Environment Protection