

Системы оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов

Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет

anna_zv@ukr.net

Звягинцева А.В. «Системы оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов». Дана характеристика существующих подходов к оценке опасности при загрязнении атмосферного воздуха, которые сформировались в экологическом и социально-гигиеническом мониторинге. Первый подход дает сравнительную оценку опасности по отношению к заданным нормируемым уровням загрязнения воздуха химическими веществами. Вторым подходом связан с оценкой опасности по данным проявления токсического процесса, исходя из непосредственно нанесенного вреда биологическим объектам. Анализируются основные положения, принципы и методы оценки опасности для обеих концепций. Оценка опасности в экологическом мониторинге основана на определении ограниченного перечня приоритетных веществ, контроле их содержания в воздухе, использовании санитарно-гигиенических норм и расчете индивидуальных и комплексных показателей загрязнения атмосферы. Оценка опасности при социально-гигиеническом мониторинге основана на анализе риска для здоровья человека при воздействии на него химических веществ, загрязняющих воздух и связана в основном с изучением характеристик и параметров токсических процессов и их проявлений. Оба подхода в конечной своей цели выходят на вероятностную оценку опасности на основе определения рисков негативных событий загрязнения воздуха или негативных эффектов при реализации этих событий. Анализируются также методы оценки риска при загрязнении атмосферы, исходя из определения вероятности сложных опасных событий, связанных как с превышением нормативных уровней загрязнения воздуха, так и с негативным действием вредных веществ на реципиентов. Сделана попытка обобщения существующих представлений об опасности загрязнения воздуха, а также охарактеризованы некоторые перспективные направления исследований в этой области.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха; принципы, подходы и методы оценки опасности; экологический и социально-гигиенический мониторинг; анализ риска негативных воздействий.

Наука начинается тогда, когда человек подходит к явлениям природы с числом и мерою

В.И. Вернадский

Введение

Системный подход в области охраны окружающей среды начал использоваться с начала 70-ых годов. Этому послужила публикация известной работы Ю. Одум «Основы экологии», в которой системный анализ экологических проблем был положен в основу изучения и охраны окружающей среды. Приблизительно в это же время широко стал применяться термин «мониторинг», под которым понимали систему наблюдений, позволяющую оценить изменения в состоянии биосферы под влиянием человеческой деятельности. Наблюдения за состоянием окружающей среды и биологическими организмами и системный подход к анализу проблем охраны природы свойственны всем современным экологическим исследованиям.

При этом следует отметить, что изучение загрязнения атмосферного воздуха занимает в этих исследованиях особое место, так как атмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой, а загрязнение приземной атмосферы – это основной, постоянно действующий фактор негативного воздействия как на человека, так и на биосферу в целом и все ее экологические системы. Выделение в атмосферу в глобальном масштабе все возрастающих количеств потенциально вредных газов и твердых частиц, а также ряд произошедших на протяжении последних столетий знаковых событий определили приоритетность охраны атмосферного воздуха.

Следует также отметить, что согласно данным ЮНЕП загрязнение атмосферы приводит к смерти 500 тыс. человек в год. Загрязненный воздух служит основной причиной возникновения 4–5 млн. новых случаев хронического бронхита ежегодно и многих миллионов случаев других заболеваний.

Экономические потери в связи с загрязнением воздуха составляют от 0,5 до 2,5% мирового ВВП.

В XX веке первым случаем трагической гибели людей при загрязнении атмосферы стала ситуация с выбросами вредных веществ в декабре 1930 года бельгийскими заводами в Бельгии, когда от отравления умерло шестьдесят человек и пострадало более тысячи.

В декабре 1948 года в городе Донора (США) от смога пострадало более двух тысяч человек. В течение полутра суток было зарегистрировано два десятка смертельных случаев среди населения города, сотни жителей чувствовали себя очень плохо. Спустя четыре года в декабре 1952 еще более трагический случай произошел в Лондоне. Из-за загрязнения воздуха угарным газом за пять дней погибло более 4000 человек, ещё 8000 человек погибло в последующие месяцы, более 100 тысяч человек заболели. Были приняты экстренные меры по охране атмосферного воздуха, однако, спустя десять лет, ситуация повторилась в декабре 1962 года. В эти дни многие жители Лондона впервые одели противогазы из-за смога. Число погибших достигло 106 человек.

В истории катастрофических аварий самым известным и масштабным случаем, связанным с загрязнением атмосферного воздуха, является Бхопальская катастрофа (1984). В результате аварийного выброса паров метилизоцианата на химическом заводе в индийском городе Бхопал погибло и умерло в последствии от болезней более 25 тысяч человек, а еще несколько сотен тысяч пострадали, причем многие стали инвалидами.

Поэтому за последние 40 – 50 лет, исходя из реальной опасности загрязнения атмосферы, проблеме охраны атмосферного воздуха уделялось особое внимание. В этой области выполнено множество научных исследований, сделаны важные открытия, разработаны методологии оценки опасности, предложены системы управления качеством атмосферного воздуха, разработано большое количество нормативных актов и затрачены колоссальные ресурсы на решение соответствующей проблемы.

Краткая история основных событий, исследований и разработок в области охраны атмосферного воздуха приведена в таблице 1.

Исходя из исторических данных видно, что научное направление, связанное с охраной атмосферы, является междисциплинарным и прикладным, так как сформировалось на стыке различных научных дисциплин: биологии, экологии, инженерной экологии, токсикологии, медицины, экологического мониторинга и наблюдений за состоянием окружающей среды, а также опыта и практики применения приборов и средств контроля. Все это привело к тому, что в этой области сформировались различные подходы к оценке опасности загрязнения

атмосферного воздуха, которые во многих аспектах пересекаются. Данные подходы привели к формированию целых научных и практических направлений, непосредственно связанных с экологическим и социально-гигиеническим мониторингом.

Экологический мониторинг как государственная система наблюдения, анализа, оценки и прогнозирования состояния окружающей природной среды является, с одной стороны, основой для обоснования управленческих решений, а с другой – системой, представляющей сведения о реальных параметрах и характеристиках окружающей среды [1 – 11]. Риск загрязнения природной среды оценивается на основе сравнения концентраций химических веществ, определенных при экологическом мониторинге, с безопасными уровнями, которые характеризуют различные виды воздействий на объекты.

Социально-гигиенический мониторинг направлен на установление, предупреждение, устранение или уменьшение факторов и условий вредного влияния среды обитания на здоровье человека в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [12 – 20]. Риск для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, оценивается на основе определения значений вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья нынешних и будущих поколений.

Целью данной статьи является анализ основных положений, принципов, существующих подходов и методов оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами, а также анализ различных концепций оценки опасности и риска в данной области.

Процедуры оценки опасности и риска при загрязнении атмосферного воздуха имеют большое значение, так как позволяют предупредить увеличение заболеваемости населения в крупных промышленных городах, сохранить биологические ресурсы промышленных регионов и предотвратить деградацию природных экосистем.

Существующие подходы к оценке опасности загрязнения воздуха

Анализ имеющейся литературы и исследований в области охраны атмосферы [21 – 49] позволяет выделить два основных концептуальных подхода при оценке опасности:

- оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха по данным экологического мониторинга;
- оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха по данным проявления токсического процесса у биологических объектов.

Таблица 1. – Хронология основных событий, исследований и разработок в области оценки опасности и охраны атмосферного воздуха

Периоды и даты	События, исследования и разработки
1	2
IV–III век до н.э.	Первые упоминания об опытах на животных в сочинениях древних греков. Аристотель и Эразистрат одними из первых провели токсические опыты на животных.
37 – 68 годы н.э.	Римлянин Диоскорид классифицировал яды, выделив среди них животные, растительные и минеральные.
79 год н.э.	Во время извержения Везувия в Помпее от ядовитых выбросов погибло более 2000 человек.
1273	В средневековой Англии принят первый законодательный акт в истории охраны воздушной среды – закон о запрещении использования угля для отопления.
1493 – 1541	Врач-алхимик средневековья Парацельс (Геофраст фон Гогенгейм) выполнил первые исследования в области токсикологии и показал, что яд – это химическое вещество. В своих сочинениях он впервые пытался связать болезни рудокопов и литейщиков с профессиональными отравлениями свинцом, ртутью и сурьмой.
Середина XVII века	При Петре I в России приняты первые указы об охране воздуха, начаты ежедневные визуальные наблюдения за погодой.
1725	Созданы первые метеорологические наблюдательные сети России. Впервые проведены инструментальные метеонаблюдения академиком Ф. Х. Майером.
XVIII век	Первый трактат в области патологии и гигиены труда Б. Рамаццини «О болезнях ремесленников» (1700). Начало изучения состава воздуха и исследований различных газов на токсичность. Известный английский хирург Персиваль Потт (1786 – 1859) указал на токсичность сажи и риск заболеваний раком легких у трубочистов. Впервые стали преподавать токсикологию как самостоятельную дисциплину (Г.И. Блосфельд).
Начало XIX века	В России создана служба регулярных гидрометеорологических и магнитных наблюдений (академик А. Купфер, исследователи Ф. Литке, Ф. Врангель, М. Рейнеке и др.)
1824	Немецкий ученый Гольдфельд ставит опыты, в которых с помощью электричества осаждаются взвешенные в газах аэрозоли и твердые частицы.
1852	Английский химик Роберт Ангес Смит опубликовал данные по химическому составу дождей, выпадавших в окрестностях Манчестера в Англии, и впервые в своей книге «Воздух и дождь: начало химической климатологии» (1872) употребил термин «кислотный дождь».
1872 – 1880, 1882 – 1892	В Лондоне наблюдались отяжелевшие от дыма, копоти и химических выбросов туманы, получившие позднее название «смог».
1876	Парламентом Великобритании принят первый закон об опытах на животных.
1882	Учреждена Международная метеорологическая организация (ММО).
1883	Впервые токсикологом Максом Грубером установлены допустимые уровни воздействия монооксида углерода на животных и человека.
1882 – 1886	Созданы циклонный очиститель и рукавный фильтр для очистки выбросов на заводах.
1886	Токсикологом К. Б. Леманном и другими учеными начаты масштабные эксперименты на животных для определения допустимых уровней воздействия аммиака, хлористого водорода, хлорированных углеводородов и некоторых других вредных веществ.
1890-е годы	Создание в России метеорологических сетей Морского министерства, Министерства путей сообщения, сетей Уральского, Харьковского и Одесского общества естествоиспытателей и др. В начале 1890-х годов в стране насчитывалось 943 метеорологические станции.
1892	Исследованы многочисленными заболеваниями раком кожи среди рабочих, занятых в производстве каменноугольной смолы и дегтя.
1896	Первые работы по нормированию загрязнения атмосферного воздуха, выполненные Хиртом (США), который предложил использовать в качестве ПДК хлористого водорода в атмосферном воздухе значение 160 мг/м ³ .
1905	Впервые доктором Генри Антуаном де Во использован термин «смог» в статье «Туман и дым». Инженером Ф. Котрелем создан электрофильтр для цементной промышленности.
1911	Вышел в свет первый в России учебник по токсикологии Д.П. Косоротова.
1912	Ученым Кобертом опубликована таблица, содержащая информацию о предельных уровнях острого воздействия для 20 вредных веществ.
1921	В экспериментах на животных установлены допустимые нормы воздействий для 33 веществ, встречающихся на промышленных производствах.
1922	В СССР впервые в мире регламентированы предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны для трех веществ, а к 1941 году установлены ПДКр.з. для 80 веществ.

Продолжение таблицы 1

1	2
1920-е годы	Развитие отечественной промышленной токсикологии под руководством Н. В. Лазарева (1895 – 1974) и Н. С. Правдина (1882 – 1954).
1929	Создана Единая гидрометеорологическая служба СССР.
1930	Министерством труда СССР установлены максимально допустимые концентрации для 12 токсичных промышленных веществ.
1930 – 1950	В СССР заложены основы методологии гигиенического нормирования веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
1934	Ученым Гэддэмом выполнены исследования зависимостей «доза-эффект» и проведена обработка опытных данных для некоторых вредных веществ. Блисс предложил для учёта уничтоженных пестицидами вредителей использовать метод пробит-анализа. Н. С. Правдиным выпущено в свет первое отечественное руководство по промышленной токсикологии.
1935	Токсикологи Сэйерс и Дэл Вэл описали физиологические эффекты, возникающие при воздействии 37 химических веществ при низких и высоких концентрациях.
1938	В СССР Н. В. Лазаревым изданы монография «Общие основы промышленной токсикологии» и фундаментальный справочник «Вредные вещества в промышленности».
1939, 1940	Подготовлены первые списки максимально допустимых концентраций (MACs) при воздействии химических веществ в промышленности.
1941	Составлен первый достаточно полный список норм максимально допустимых концентраций для почти 60 веществ, встречающихся на рабочих местах (ACGIH).
1945	На Международной конференции ООН в Сан-Франциско принято решение о создании Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Опубликован список MACs для 132 промышленных загрязняющих веществ, содержащихся в воздухе (Кук).
1947	Создана Всемирная метеорологическая организация ООН (WMO), осуществляющая глобальный мониторинг окружающей среды.
1949	В СССР сформулированы основные принципы санитарно-гигиенического нормирования химических веществ (А.Н. Сысин и С.Н. Черкинский). Составлен первый перечень ПДК для шести веществ (пыль, диоксид серы, монооксид углерода и др.). К 1968 году стандарты качества воздуха официально приняты в восьми, а к 1973 году – в 22 государствах.
1951	В СССР утверждены первые санитарно-гигиенические нормы ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе (для 10 наиболее распространенных загрязнителей – сернистый газ, взвешенные вещества, диоксид азота, оксид углерода и др.).
1952	От смога при интенсивном сжигании угля в Лондоне скончалось за 5 дней более 4000 человек, ещё 8000 человек погибло позднее.
1957	Состоялась первая конференция ВОЗ по вопросам охраны здоровья населения в связи с загрязнением атмосферного воздуха.
1961	Управление по пищевым и лекарственным веществам США (FDA) предложило первую редакцию методики оценки риска канцерогенеза, обусловленного действием химвеществ.
1963	На базе сети наблюдений Гидрометеослужбы СССР начат контроль загрязнения атмосферы.
1965	В Чикаго (США) создана одна из первых автоматизированных систем контроля загрязнения атмосферного воздуха.
1966	В США принят первый закон о защите экспериментальных животных.
1971	Экспертами Научного комитета по проблемам окружающей среды предложен термин «мониторинг окружающей природной среды» (авторство принадлежит Р. Манну).
1972	В СССР создана общегосударственная служба наблюдений и контроля за загрязнением объектов природной среды (ОГСНК).
1975	Организована Глобальная система мониторинга окружающей среды под эгидой ООН.
1980	В США приняты национальные стандарты качества воздуха на содержание 6 веществ.
1984	Авария на заводе американской компании по производству пестицидов в г. Бхопал (Индия). В результате попадания в атмосферу 30 тонн метилизоцианата в течении суток погибло 3 тысячи человек, 11500 людей госпитализировано с тяжелой формой отравления.
1986	В Камеруне озеро Ниос при оползне выбросило большое облако диоксида углерода. В результате в ближайших селах задохнулось 1700 человек и 3500 голов скота. Ядерная катастрофа на Чернобыльской АЭС. Радиационному загрязнению подверглась площадь 131 тыс. км ² с населением около 4 млн. чел. Впервые в Москве запущены в промышленную эксплуатацию три автоматических поста контроля загрязнения атмосферного воздуха.
1987	ВОЗ выпущено первое издание Критериев качества атмосферного воздуха.
1993	Сформирована Единая государственная система экологического мониторинга России (ЕГСЭМ).

В основе первого концептуального подхода лежит оценка опасности событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха, исходя из применения существующих гигиенических и санитарных норм [23 – 25, 27, 30, 50 – 59]. В этой области сформировались основные научные школы, которые направлены на исследования в области мониторинга воздушной среды, метеорологии, экологического нормирования, контроля загрязнения воздуха, изучения физико-химических процессов в атмосфере, теории опасности и риска и т.д.

Второй концептуальный подход основан на оценке опасности событий, связанных с возникновением негативных эффектов у биологических объектов при загрязнении воздуха [18 – 20, 41, 45 – 48, 60 – 83].

Здесь можно выделить научные школы, связанные с оценкой опасности токсического действия веществ, изучением характера и форм проявления токсических процессов на разных уровнях организации жизни, оценкой и характеристикой токсического процесса при ингаляционных воздействиях на человека, животных и растения, анализом рисков негативных воздействий и последствий для биологических организмов и т.д.

Сравнивая данные подходы, отметим, что граница разделения между ними относительно условна. Многие результаты, полученные в токсикологических и эпидемиологических исследованиях, используются при мониторинге атмосферного воздуха и оценке опасности уровня загрязнения. В свою очередь, данные о распространении атмосферных загрязнителей широко используются при оценке рисков токсикологических воздействий и анализе последствий токсических процессов у биологических объектов. Однако основное отличие заключается в том, что в первом случае преобладают физико-химические и экологические методы, а также естественнонаучные методы теории опасности и риска, которые применяются по отношению к основному объекту исследования – атмосферному воздуху, процессам изменения его состояния и связанными с этими процессами опасными событиями. Биологическая оценка уровня негативных воздействий вводится при данном подходе в методологию и практику через систему санитарно-гигиенического нормирования. Во втором случае применяются эпидемиологические, медицинские, биологические и токсикологические исследования, а также методы анализа опасности и риска по отношению к объекту исследования, в качестве которого выступают биологические организмы. Все это привело к тому, что в практической деятельности сформировались два прикладных направления, которые соответственно называют экологическим и социально-гигиеническим мониторингом. Эти направления отличаются

различной методологией, связанной с оценкой опасности при загрязнении воздуха, хотя многие методические положения обоих подходов являются общими.

Например, в основе обоих подходов лежат общие базовые понятия, в которых под *опасностью* обычно понимают совокупность постоянно действующих и случайно возникающих факторов в результате некоторого инициирующего события, либо при некотором стечении обстоятельств или формировании условий окружающей среды, оказывающих негативное воздействие на реципиентов. При этом *реципиент* – это объект живой или неживой природы (человек, животные, растения, биосфера, природные среды, ресурсы, здания, сооружения и т.п.). Используются также следующие общие определения.

Опасный фактор – физические, химические, биологические компоненты и явления живой и неживой природы, ресурсы или условия окружающей среды, способные вызвать неблагоприятные эффекты и негативные последствия у объектов воздействия при реализации опасности.

Воздействие – действие опасного фактора окружающей среды на уровне, создающем неблагоприятные эффекты и негативные последствия у реципиентов.

Объект воздействия – реципиенты, на которые воздействует опасный фактор окружающей среды.

Окружающая среда – совокупность природных, экономических, социальных, техногенных и других условий, в которых находится объект воздействия.

Вредное вещество (примесь) – вещество, которое при контакте с биологическим организмом может вызвать заболевания или другие неблагоприятные последствия в состоянии.

Применительно к вредному веществу используют следующие основные понятия.

Порог вредного действия – минимальная концентрация или доза вещества, при воздействии которой при определенных условиях в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Предельно допустимая концентрация – содержание вредного вещества в окружающей среде на уровне границы безопасного воздействия, превышение которой может нанести непоправимый ущерб и вред реципиентам, а также качеству окружающей их среды.

Токсичность – способность вещества при его воздействии в определенных количествах на биологический организм вызывать негативные последствия различной степени тяжести (токсические эффекты, заболевания, повреждения, гибель).

Неблагоприятный (вредный) эффект – изменения в морфологии, физиологии, росте, развитии или продолжительности жизни организма, популяции или экологической системы, проявляющиеся в ухудшении функциональной способности или способности компенсировать дополнительный стресс, или в увеличении чувствительности к другим воздействиям факторов окружающей среды.

Зависимость «доза-эффект» – связь между дозой/концентрацией и степенью выраженности эффекта в экспонированной популяции.

Таким образом, опасность окружающей среды реализуется через опасный фактор, который может характеризоваться несколькими параметрами, например, концентрацией вещества в воздухе и временем его действия.

Оценка опасности часто осуществляется на основе определения риска, при этом *риск* – это вероятность возникновения неблагоприятных эффектов или негативных последствий у живого или материального объекта через действие опасных факторов окружающей среды.

Ущерб (вред) – наблюдаемое или ожидаемое нарушение состояния здоровья человека или негативные последствия для жизнедеятельности животных, растений или биосферы в целом, обусловленные воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды.

Существуют также другие самые разные определения и понятия, свойственные, например, экологическому мониторингу – посты наблюдений (стационарные, маршрутные, передвижные); станции (сети, пункты) наблюдений; автоматизированные системы контроля; репрезентативность наблюдений; программы наблюдений (полная, неполная, сокращенная, суточная); приоритетные (основные, критериальные, обязательные, индикаторные) и специфические загрязняющие вещества; фоновое загрязнение; наблюдаемые и приземные концентрации; субъекты мониторинга и т.п.

В свою очередь, в социально-гигиеническом мониторинге применяют следующие важные определения и понятия – факторы среды обитания; вредные воздействия; референтные дозы/концентрации; санитарно-гигиенические нормативы; медико-демографические показатели; пороги действия, патологический процесс; интенсивность воздействия, степень тяжести; хроническое/острое/подострое воздействие; смертельные дозы/концентрации; допустимые уровни воздействия; экспозиция; вероятность неблагоприятного эффекта; параметры зависимости «доза-эффект»; риск (индивидуальный, приемлемый, канцерогенный, популяционный); факторы риска и т.д.

В целом обоим подходам свойственны общий и специфический понятийно-категорийный аппарат, общепринятая научная и практическая методология, спектр методов и методик исследования, свой определенный перечень нормативных актов и нормативно-методических документов, принятие систем управления качеством окружающей среды и т.д.

Рассмотрим более подробно указанные выше два подхода к оценке опасности загрязнения воздуха.

Оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха по данным экологического мониторинга

Данный метод оценки опасности основан на определении перечня приоритетных и специфических веществ, контроле их содержания в воздухе населенных мест, использовании санитарно-гигиенических норм, оценке опасности загрязнения воздуха по различным характеристикам и параметрам изменения состояния загрязнения воздуха. Ведется также мониторинг опасных событий, связанных с загрязнением атмосферы. Конечным результатом данного подхода является комплексная оценка загрязнения атмосферы и получение исходных данных для разработки мероприятий по охране атмосферного воздуха.

Обычно государственные и ведомственные программы мониторинга качества атмосферного воздуха включают обязательный контроль приоритетных загрязняющих веществ на стационарных и передвижных постах. Например, в Украине в этот перечень входят пыль в виде взвешенных частиц, диоксид и монооксид азота, диоксид серы и оксид углерода. Среди специфических веществ осуществляется обязательный контроль формальдегида, бенз(а)пирена, тяжелых металлов. В России к этому списку приоритетных веществ добавляются также взвешенные вещества с размером 10 мкм и менее (PM₁₀) и 2,5 мкм и менее (PM_{2,5}), озон, а также углеводороды. В соответствии с местными особенностями населенных пунктов на стационарных постах ведется также наблюдение за специфическими загрязняющими веществами (например, аммиак, бензол, фенол, сероводород, фтористый водород, толуол и прочее). Контроль качества воздуха проводится в соответствии с утвержденным перечнем вредных веществ, который принят для каждого города в отдельности.

В США в число индикаторных загрязняющих воздух веществ (criteria pollutants) включены озон, монооксид углерода, диоксид азота, диоксид серы, взвешенные вещества и свинец. В свою очередь, в качестве приоритетных загрязнителей воздуха Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует контролировать взвешенные

(твердые) вещества, диоксид азота, диоксид серы, озон и другие фотохимические оксиданты.

Считается, что наиболее опасными загрязнителями воздуха являются тяжелые металлы. Наиболее приоритетными для химико-токсикологического анализа среди них являются: свинец (Pb), ртуть (Hg), никель (Ni), кадмий (Cd), цинк (Zn), кобальт (Co), медь (Cu), обладающие высокой токсичностью и миграционной способностью [22]. В США в число наиболее опасных включены также асбест, бериллий и винилхлорид [84].

Сегодня в Украине контроль загрязнения атмосферного воздуха ведется в 53 городах на 162 контрольных постах. При этом наблюдения за концентрациями пыли, диоксида азота и диоксида серы проводятся в 53 городах, оксида углерода – в 48 городах, формальдегида – в 43 городах, тяжелых металлов и бенз(а)пирена – в 50 городах, фенола и аммиака – в 23 городах, фтористого водорода – в 14, сероводорода – в 16, хлористого водорода – в 11 городах, сажи – в 6, растворенных сульфатов – в 19, серной кислоты, бензола, толуола, этилбензола и ксилола – в 2 городах, а также анилина в 1 городе.

В России в настоящее время сеть мониторинга качества воздуха включает 260 городов, в которых работает 710 станций, регулярные наблюдения Росгидромета проводятся в 226 городах на 649 станциях.

В Беларуси сеть мониторинга атмосферного воздуха охватывает 18 крупнейших городов и включает более 60 стационарных постов. На данных постах контролируется более 40 загрязняющих веществ.

Полученные фактические данные наблюдений по концентрациям веществ сравниваются с нормативами качества атмосферного воздуха. В области охраны атмосферного воздуха нормативы устанавливаются различными документами государственного уровня, например, [10, 19, 23 – 29, 54 – 59, 63, 85 – 87]. Стандарты качества воздуха, принятые в различных странах по отношению к человеку, приведены в таблице 2 [10, 23 – 25, 28 – 30, 56, 58, 59].

Исторически сложилось, что система экологического и санитарно-гигиенического нормирования, определяющая качество атмосферного воздуха и регламентирующая воздействие на биологические организмы загрязняющих веществ, в основном ориентируется на несколько видов объектов – человека, животных, растения, деревья, а также биоферу в целом. При этом для предотвращения негативных последствий в процессе нормирования определяются безопасные уровни воздействия. Научно

обоснованные безопасные уровни законодательно утверждаются в каждой стране, благодаря чему они переводятся в ранг национальных санитарно-гигиенических и экологических нормативов.

В странах бывшего СССР к гигиеническим нормативам допустимого содержания веществ в атмосферном воздухе относятся: предельно допустимые концентрации (ПДК), ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) и различные комплексные показатели.

В Украине, России и в большинстве стран постсоветского пространства система ПДК загрязняющих веществ для оценки качества атмосферного воздуха является наиболее апробированной. ПДК устанавливаются как для каждого вещества в отдельности, так и для совместного присутствия определенного сочетания вредных веществ в атмосферном воздухе [10, 23 – 30, 50 – 54, 56, 58, 59, 63]. Предельно-допустимые концентрации веществ в атмосферном воздухе населенных мест регламентируются в виде среднесуточной и максимально-разовой ПДК.

Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{с.с.}) – это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании. Таким образом, данная концентрация рассчитана на все группы населения и на неопределенно долгий период воздействия и, следовательно, является самым жестким санитарно-гигиеническим нормативом, устанавливающим концентрацию вредного вещества в воздушной среде. Величина ПДК_{с.с.} в настоящее время выступает в качестве порога нормы для оценки благополучия воздушной среды в жилой зоне.

В свою очередь, максимально-разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{м.р.}) – это концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая при вдыхании в течение 20 – 30 минут не должна вызывать рефлекторных (в том числе, субсенсорных) реакций в организме человека. Данную концентрацию устанавливают для тех веществ, которые обладают в большей степени рефлекторным и раздражающим действием. ПДК_{м.р.} необходимы для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, изменение биоэлектрической активности головного мозга, световой чувствительности глаз и др.) при кратковременном воздействии вредных атмосферных примесей. Величина ПДК_{м.р.} используется при установлении научно-технических нормативов – предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ.

Таблица 2. – Стандарты качества воздуха в разных странах мира

Загрязнитель	Вид нормативного значения за установленный период времени	Численное значение для страны, мг/м ³									Рекомендации ВОЗ, мг/м ³	
		Армения	Азербайджан	Беларусия	Грузия	Молдова	Россия	Украина	ЕС	США		
Диоксид серы (SO ₂)	тах за 20 мин.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,35**		0,5 [/]
	среднее за 24 ч.	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,125	0,365	0,125
	среднегодовое	–	–	0,05	0,02	–	–	–	–	0,05	0,087	0,02
Диоксид азота (NO ₂)	тах за 20 мин.	0,085	0,085	0,25	0,20	0,085	0,20	0,20	0,20	0,20**		0,20**
	среднее за 24 ч.	0,04	0,04	0,10	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04		0,04
	среднегодовое			0,04					–	0,04	0,1	0,04
Твердые частицы, ТЧ ₁₀	тах за 20 мин.	–	–	0,15	–	–	0,30	–	–	–		
	среднее за 24 ч.			0,05		0,05	0,06	–	0,05	0,15	0,05	0,05
	среднегодовое			0,04				–	0,04	0,08	0,02	0,02
Твердые частицы, ТЧ _{2,5}	тах за 20 мин.	–	–	0,065	–	–	0,16	–	–	–		
	среднее за 24 ч.	–	–	0,025	–	–	0,035	–	–	0,035	0,025	0,025
	среднегодовое			0,015			0,025	–	0,025	0,015	0,01	0,01
Пыль (суммарные взвешенные частицы)	тах за 20 мин.	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		–
	среднее за 24 ч.	0,15	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		–
	среднегодовое	–	–	0,10	–	–	–	–	–	–		–
Свинец (Pb)	тах за 20 мин.	–	0,001	0,001	0,001	–	0,001	0,001	–	–		
	среднее за 24 ч.	0,003	0,0003	0,0003	0,0003	–	0,0003	0,0003	–	–		
	среднегодовое			0,0001	0,00006				0,0005	0,0015 ^x	0,0005	0,0005
Оксид углерода (CO)	тах за 20 мин.	5	5	5	5	5	5	5	10 ^{//}	10 [*]		100 ^{xx}
	среднее за 24 ч.	3	3	3	3	3	3	3	–	40 ^{**}		30 ^{**}
	среднегодовое	–	–	0,5	–	–	–	–	–	–		10 [*]
Бензол (C ₆ H ₆)	тах за 20 мин.	1,5	1,5	0,1	–	–	0,3	1,5	–	–		
	среднее за 24 ч.	0,1	0,1	0,04	–	–	0,1	0,1	–	–		
	среднегодовое	–	–	0,01	–	–	–	–	0,005	–		0,006
Озон (O ₃)	среднее за 1 ч.	0,16	0,06	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,238	0,15 – 0,2	
	среднее за 8 ч.			0,12					–	0,12 ^{//}	0,148	0,1
	среднее за 24 ч.	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	–	–		
Мышьяк (As)	тах за 20 мин.	–	–	0,008	–	–	–	–	–	–		
	среднее за 24 ч.	0,003	–	0,003	–	–	0,0003	0,003	–	–		
	среднегодовое			0,0008					6·10 ⁻⁶	–		1,5·10 ⁻⁶
Кадмий (Cd)	тах за 20 мин.	–	–	0,003	–	–	–	–	–	–		
	среднее за 24 ч.	0,0003	0,0003	0,001	–	–	0,0003	0,0003	–	–		
	среднегодовое			0,0003					5·10 ⁻⁶	–		5·10 ⁻⁶
Никель (Ni)	тах за 20 мин.	–	–	0,01	–	–	–	–	–	–		
	среднее за 24 ч.	0,001	–	0,004	–	–	0,001	0,001	–	–		
	среднегодовое			0,001					2·10 ⁻⁵	–		
Бенз(а)пирен (C ₂₀ H ₁₂)	тах за 20 мин.	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
	среднее за 24 ч.	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	–	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	–	–		–
	среднегодовое			10 ⁻⁶					–	10 ⁻⁶		–

[/] – среднее за 10 мин.; ^{xx} – среднее за 15 мин.; ^{**} – среднее за 1 час; ^{*} – среднее за 8 часов; ^x – среднее за 3 месяца; ^{//} – максимальная концентрация в течении суток, рассчитанная по концентрациям, измеренным с 8-часовым осреднением; [\] – время осреднения: единичный риск/продолжительность жизни; ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения.

Важной характеристикой является также класс опасности вещества. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 [88] все вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяются на четыре класса опасности: 1 – чрезвычайно опасные, 2 – высокоопасные, 3 – умеренно опасные, 4 класс – малоопасные

В зависимости от показателя вредности атмосферные загрязнители подразделяются на 3 группы [60]:

- 1) преимущественно рефлекторного действия;
- 2) преимущественно резорбтивного действия;
- 3) рефлекторно-резорбтивного действия.

Для веществ первой группы устанавливается только одна максимальная разовая ПДК по рефлекторному действию, для веществ 2-ой группы – среднесуточная ПДК и в дополнение к ней максимальная разовая концентрация на уровне 98% вероятности ее появления в хроническом эксперименте, для веществ 3-ей группы устанавливаются максимальная разовая ПДК по рефлекторному действию и среднесуточная – по резорбтивному.

Под рефлекторным действием понимается реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.д. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии вредных веществ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления ПДК_{м.р.}

Под резорбтивным действием понимают возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и от длительности его вдыхания. С целью предупреждения развития резорбтивного действия устанавливается ПДК_{с.с.} или максимальная 24-часовая и/или средняя за длительный период (год и более).

В настоящее время в России разработаны и утверждены предельно допустимые концентрации в атмосферном воздухе населенных мест для 614 вредных веществ [56], а для более чем 1500 веществ приняты ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) [57]. В Белоруссии установлены нормативы ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе для 570 веществ и ОБУВ загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения для 1500 веществ [58]. В свою очередь, в Украине регламентированы нормативы ПДК для 509 веществ [23] и ОБУВ для 1326 веществ.

Следует различать понятия ПДК (предельно допустимые концентрации) и

предельные концентрации (целевые нормативы качества или предельные показатели).

В Европейском союзе нормирование качества атмосферного воздуха осуществляется путем установления именно стандартов качества, основанных на предельных величинах или целевых показателях. Принято, что страны-участницы ЕС могут ввести более строгие предельные или целевые показатели. Например, стратегия качества атмосферного воздуха 2007 года, реализуемая в Великобритании, устанавливает жесткие целевые показатели качества воздуха: с 2009 года предельные значения среднегодовой концентрации свинца установлены на уровне 0,25 мкг/м³, в то время как для большинства других стран ЕС это значение составляет 0,50 мкг/м³; в Шотландии предельное значение среднегодовой концентрации ТЧ_{2,5} с 2010 года составляет 12 мкг/м³, в то время как для большинства стран ЕС – 25 мкг/м³ и т.п.

В США установлены и приняты к использованию первичные и вторичные стандарты качества атмосферного воздуха. Первичными называются стандарты качества атмосферного воздуха, установленные и подлежащие соблюдению с целью охраны здоровья населения, включая чувствительные группы (к таковым отнесены, например, люди, страдающие астмой, дети, престарелые люди). Вторичными называются стандарты, установленные с целью защиты имущества людей, включая сокращение видимости, ущерб животным, урожаю, растениям и зданиям.

Допустимые нормы или правила, которые постепенно стали широко применяться как в Соединенных Штатах, так и в большинстве других стран, – это нормы, ежегодно издаваемые Американской конференцией гигиенистов государственной промышленности (American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH), в ряде случаев они называются предельно допустимыми концентрациями (ПДК, англ. – *TLV_s* (threshold limit value – величина порогового предела)) (LaNier 1984; Cook 1986; ACGIH 1994), [65].

В настоящее время в зарубежных странах (США, Канада) и международных организациях (ВОЗ, ФАО/ВОЗ, Комиссия европейского сообщества, Организация по экономическому сотрудничеству и развитию и др.) для человека разработаны референтные уровни воздействия для почти 1000 химических соединений. Причем около 20% референтных концентраций обоснованы с использованием клинических и эпидемиологических данных. Для химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух населенных мест, референтные концентрации дифференцированы в зависимости от

продолжительности воздействия (от 5 минут до 24 часов) и степени тяжести возможных изменений состояния здоровья чувствительных подгрупп.

Важным биологическим объектом, для которого осуществляется нормирование качества воздуха, является растительность. В большинстве случаев растительность более чувствительна к вредным газам, чем человек [27, 52, 63, 78, 89 – 92].

Основой для определения потенциального вредного воздействия

загрязнения атмосферы на растительность является безопасный уровень, который представляет собой физические показатели загрязнения воздуха, ниже которых, в соответствии с нынешним уровнем знаний, не наблюдается значительного отрицательного воздействия на эти объекты. В таблицах 3 и 4 представлены показатели опасности и нормативы безопасных уровней воздействия загрязнителей воздуха на растения, принятые в постсоветских странах [27, 52, 63] и странах ЕС [30, 86, 93, 94].

Таблица 3. – Безопасные уровни и показатели опасности некоторых веществ при негативных воздействиях на биосферу, растительность и деревья вследствие загрязнения атмосферного воздуха, принятые в постсоветских странах

Название вещества (химическая формула)	Предельно допустимые концентрации (ПДК _{био} , мг/м ³) по критерию вредного воздействия					
	Биосфера		Растительность		Деревья	
	средне-суточные	максимально-разовые	средне-суточные	максимально-разовые	средне-суточные	максимально-разовые
Фтор (F)	0,003	0,020	–	–	0,003	0,020
Формальдегид (НСОН)	0,003	0,020	–	0,020	0,003	0,020
Диоксид серы (SO ₂)	0,015	0,020	–	0,020	0,015	0,300
Хлор (Cl ₂)	0,015	0,025	–	0,025	0,015	0,025
Диоксид азота (NO ₂)	0,020	0,040	0,020	–	0,040	0,040
Аммиак (NH ₃)	0,040	0,050	–	0,050	0,040	0,100
Сероводород (H ₂ S)	0,080	0,080	–	0,080	0,080	0,080
Серная кислота (H ₂ SO ₄)	0,030	0,100	–	0,100	0,030	0,100
Бензол (C ₆ H ₆)	0,050	0,100	–	0,100	0,050	0,100
Озон (O ₃)	–	0,100	–	0,100	–	–
Пыль	0,050	0,200	0,050	0,200	0,050	0,200
Оксид углерода (CO)	1,000	1,000	–	3,000	1,000	3,000

Таблица 4. – Нормативы ЕС по воздействию на растения

Объект воздействия	Годовая и зимняя средняя величина диоксида серы, мкг/м ³	Среднегодовая величина оксидов азота (NO + NO ₂), мкг/м ³	Средняя за 20 дней за календарный год величина озона, мкг/м ³ ·ч
Посевы	30	–	–
Леса/растения	20	–	–
Чувствительные леса/растения	15	–	–
Лишайники	10	–	–
Большинство видов растений	–	30	17 000

Кроме концентраций и времени действия важным при оценке опасности загрязнителей воздуха является полная характеристика химического вещества, которая включает в себя химический класс вещества, знания о строении и особенностях молекул вещества, его физико-химических свойствах, общепринятых показателях опасности и т.д.

Общая оценка опасности проводится по характеристикам и параметрам изменения состояния загрязнения атмосферного воздуха,

по статистическим оценкам опасных событий, связанным с превышением показателей загрязнения санитарных норм, по интегральным показателям и комплексным характеристикам опасности смесей веществ, которые присутствуют в атмосферном воздухе и т.д.

Статистические оценки вероятности опасных событий и основные методы статистического анализа данных при мониторинге атмосферного воздуха определены Руководящим документом [10]. При этом

данные наблюдений за концентрациями примесей на стационарных и маршрутных постах, а также под факелами промышленных предприятий рассматриваются как совокупность случайных величин – единичных разовых показателей загрязнения атмосферы. Для систематизации и оценки уровня загрязнения атмосферы за рассматриваемый период обычно применяются различные статистические характеристики, например, среднее арифметическое значение концентрации примеси; среднее квадратическое отклонение результатов измерений от среднего арифметического значения; максимальное значение концентрации примеси; коэффициент вариации, показывающий долю изменчивости от среднего арифметического значения; а также другие статистические характеристики.

Кроме статистических характеристик в разных странах мира существует также множество интегральных и комплексных показателей загрязнения атмосферного воздуха, например, комплексный индекс загрязнения атмосферы (*КИЗА*), показатель загрязнения (*ПЗ*), предельно допустимое загрязнение (*ПДЗ*), суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха (*P*), индекс качества атмосферного воздуха *AQI* (Air Quality Index), *AQHI* (Air Quality Health Index), общий индекс качества воздуха *CAQI* (Common Air Quality Index), индексы *АТМО*, *ВЕЛАТМО*, *API*, *Z*, *Q*, *HI*, *H* и т.д. [10, 18, 19, 23, 34, 36, 43, 44, 95].

Например, в постсоветских странах для соответствующей оценки широко используется комплексный индекс загрязнения атмосферы [10]:

$$КИЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ПДК_{с.с.i}} \right)^{\beta_i}, \quad (1)$$

где n – число загрязняющих атмосферу веществ, учитываемых при определении индекса (обычно 5), C_i – среднегодовая концентрация i -ой примеси в воздухе; β_i – показатель вредности i -ой примеси, зависящий от класса опасности вещества (для веществ 1-го класса опасности равен 1,7; для веществ 2-го – 1,3; третьего – 1,0; четвертого – 0,9).

Данный индекс, как интегральный показатель, определяет не абсолютный, а относительный уровень загрязнения атмосферного воздуха изучаемой местности. Согласно принятой классификации по показателю *КИЗА* выделяют четыре категории опасности: класс нормы ($КИЗА \leq 5$), класс риска ($5 < КИЗА \leq 8$), класс кризиса ($8 < КИЗА \leq 15$) и класс бедствия ($5 < КИЗА \leq 8$). Таким образом, показатель *КИЗА* дает экспертную оценку уровня опасности загрязнения воздуха и никак не

связан с риском неблагоприятных эффектов при воздействиях на человека.

В Беларуси после 2006 года указанный индекс практически не используется для оценки интегрального загрязнения атмосферы (сейчас там применяют суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха P [44]). В то же время в других странах СНГ использование *КИЗА* продолжается. В частности, в России и Украине принципы интегральной оценки состояния воздушной среды по-прежнему базируются на расчете комплексного индекса (*ИЗА*), который связан методически с *КИЗА* [10].

В Украине, в соответствии с нормативным документом [23], введенным в действие МОЗ Украины в 1997 году, оценка загрязнения атмосферного воздуха проводится также с учетом кратности превышения показателя загрязнения (*ПЗ*) относительно нормативного значения предельно допустимого загрязнения (*ПДЗ*). Индекс *ПЗ* рассматривается уже как относительный интегральный критерий оценки загрязнения атмосферного воздуха, который характеризует интенсивность и характер совместного влияния всей совокупности присутствующих в нем вредных примесей. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха проводится путем сопоставления показателя загрязнения одним веществом или суммарного показателя загрязнения смесью веществ с показателем *ПДЗ*, который нормируется, исходя из пяти диапазонов опасности. Из расчета значений *ПЗ* определяется уровень и степень опасности загрязнения воздуха. Если значение $ПЗ \leq 1,0 ПДЗ$, то степень опасности загрязнения воздуха считается безопасной; если же $1,0 ПДЗ < ПЗ \leq 2,0 ПДЗ$, то степень опасности загрязнения – слабо опасной; если $2,0 ПДЗ < ПЗ \leq 4,4 ПДЗ$ – умеренно опасной; если $4,4 ПДЗ < ПЗ \leq 8,0 ПДЗ$ – опасной; и, наконец, если $ПЗ > 8,0 ПДЗ$ – степень опасности загрязнения воздуха является очень опасной. *ПДЗ* определяется согласно ДСП-201-97 [23] с учетом перечня веществ, присутствующих в воздушной среде и экспериментально определенных и утвержденных в установленном порядке коэффициентов комбинированного действия.

Показатель загрязнения рассчитывается по формуле:

$$ПЗ = \sum_{i=1}^n \frac{ПЗ_i}{K_i}, \quad ПЗ_i = \left(\frac{C_i}{ПДК_{с.с.i}} \right), \quad (2)$$

где K_i – значения коэффициентов, которые учитывают класс опасности i -ого вещества и принимаются равными: для веществ 1-го класса опасности – 0,8; 2-го класса опасности – 0,9; 3-го класса опасности – 1,0; для веществ 4-го класса опасности – 1,1.

Показатель *ПЗ* может давать оценку уровня опасности загрязнения воздуха, однако норма кратности превышения *ПДЗ* введена временно, процесс накопления новых данных

идет очень медленно и субъекты государственного мониторинга данную норму используют существенно реже, чем комплексный индекс *КИЗА*.

В целом, все комплексные и интегральные показатели представляют собой расчетные величины на основе экспертных зависимостей, которые приняты в качестве нормируемых величин.

Как видно из приведенного материала, анализируемый в этом подразделе подход к оценке опасности ориентирован в основном на использование общепринятых санитарно-гигиенических норм (на приоритетности защиты прежде всего человека и возможности использования нормативов качества воздуха), а также на обязательном контроле приоритетных веществ и выборочном – специфических загрязнителей атмосферы. Все комплексные индексы представляют собой практически средневзвешенные количественные оценки опасности, основанные на применении тех или иных видов экспертных зависимостей. Причем данные зависимости определяют опасность нескольких воздействующих веществ, исходя из уровня загрязнения воздуха по отношению к действующим нормам.

Определенное распространение при комплексной оценке и анализе безопасности загрязнения атмосферного воздуха получила оценка риска по отдельным опасным событиям. В качестве событий рассматриваются случаи загрязнения воздуха, связанные с превышением установленных норм (например, среднесуточных или максимально-разовых ПДК) и заданных уровней загрязнения, равных пятикратному и десятикратному превышению предельно допустимых концентраций. Могут также рассматриваться случаи превышения показателей загрязнения относительно нормативных значений интегральных критериев. Для многих указанных выше случаев загрязнения воздуха определяются относительные частоты наблюдаемых событий, которые также являются оценкой опасности загрязнения атмосферного воздуха.

Оценка риска также может проводиться по изучению комплексных характеристик опасности смесей химических веществ с учетом изменения эффекта биологического действия при совместном воздействии двух и более веществ одновременно (аддитивное, синергетическое, антагонистическое действия). Однако, такая оценка проводится на основе экспертных методик, обобщающих некоторые наблюдения сложных опасных событий, связанных с загрязнением воздуха.

Подход, связанный с оценкой рисков опасных событий, отличается наличием

определенных методических обоснований и тесной связью с натурными наблюдениями [10]. Методика оценки рисков опасных событий загрязнения воздуха, а также самые разные статистические характеристики, которые применяются для оценки, приведены в Руководстве [10]. Однако область оценки рисков опасных событий в экологическом мониторинге развивается преимущественно как описательная наука, позволяющая устанавливать закономерности загрязнения атмосферного воздуха на основе обширного опытного материала. Работ, направленных на оценку рисков, связанных с превышением установленных норм, в зависимости от влияния различных факторов очень мало. Это связано с тем, что соответствующие эмпирические распределения могут быть определены для конкретных объектов (городов, территорий, постов) по временным рядам загрязнения воздуха, при этом влияющие факторы не всегда могут быть однозначно выделены и обобщены.

Поэтому основные проблемы в области оценки рисков опасных событий загрязнения атмосферного воздуха связаны с исключительным многообразием изучаемых факторов, проблемами классификации опасных событий и их вероятностей, неопределенностью и неоднозначностью многих данных наблюдений, а также широким многообразием математических моделей, направленных на описание рисков и их распределений. В настоящее время пока не существует общей методологии оценки риска опасных событий, которая могла бы быть использована в экологическом мониторинге, т.к. такая методология связана с комплексным анализом процессов загрязнения атмосферного воздуха по их вероятностным характеристикам.

Существующий подход к оценке опасности загрязнения атмосферного воздуха по данным экологического мониторинга представлен в таблице 5. В данной таблице дается характеристика загрязняющих веществ и их свойств, а также приводятся существующие подходы к оценке опасности загрязнения воздуха.

Особо отметим, что данный подход не определяет опасность воздействия на биологические объекты исходя из непосредственно нанесенного вреда, а дает сравнительную оценку по отношению к заданным нормируемым уровням, средним условиям загрязнения или косвенно определяемым возможным эффектам воздействия. В каждой стране исторически данный подход представляет собой первый и очень важный этап при создании систем управления качеством атмосферного воздуха.

Таблица 5. – Система оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами по данным мониторинга загрязнения атмосферного воздуха

Загрязняющие вещества	Характеристика и свойства загрязняющих веществ	Оценка опасности загрязнения воздуха
<p>1) <i>приоритетные</i> (основные, критериальные, обязательные, индикаторные): взвешенные твердые частицы (пыль), диоксид серы (SO₂), оксид углерода (CO), диоксид (NO₂) и монооксид (NO) азота; 2) <i>специфические</i>: фенол, аммиак, формальдегид, сероводород, бенз(а)пирен, тяжелые металлы (Pb, Hg, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cr), сажа, озон и другие фотохимические окислители, кислоты (H₂SO₄, HF, HCl, HNO₃ и др.), углеводороды, например, бензол и его производные (толуол, этилбензол, ксилол, анилин) и другие ЛОС, а также CO₃ (фураны, диоксины, хлорорганические пестициды, инсектициды – всего 24 наименования).</p>	<p>1) химический класс; 2) строение и особенности пространственной организации молекул вещества; 3) физико-химические свойства вещества (молекулярная масса, агрегатное состояние, упругость пара, летучесть, растворимость, реакционная способность, стабильность, трансформация в атмосферном воздухе, фактор биоконцентрирования или биоаккумуляции, период полусуществования вещества, коэффициент диффузии); 4) показатели опасности вещества (кас токсичности (опасности), степень вредности); 5) концентрация и время нахождения загрязняющего вещества в атмосферном воздухе.</p>	<p>1) по приоритетности веществ, повсеместности и постоянству их присутствия; 2) по характеристикам и параметрам изменения состояния загрязнения воздуха: – по уровню концентрации за установленный период времени по сравнению с нормами; – по статистическим характеристикам наблюдаемых величин (среднее, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, максимальное) за год, за отдельные месяцы, за ряд лет (чаще всего 5); – по максимальным и средним наблюдаемым концентрациям в мг/м³ (% , ppm, ppb), в долях ПДК/TLV; – по фоновым и приземным максимальным концентрациям примеси; – по тенденциям уровня загрязнения с учетом ретроспективных данных; – по комплексу показателей для приоритетных / наиболее опасных веществ (индексы ИЗА, КИЗА, ПДЗ, ПЗ, ПЗА, Р, Z, СИ, q, Q, HI, H, AQI, AQNI, BELATMO, CAQI, API, MAPI); 3) по опасным событиям / по вероятности наблюдаемых опасных событий: – по числу случаев превышения (за год, за месяц, по постам, по городу) разовыми (восьмичасовыми, среднесуточными, среднегодовыми) концентрациями: а) установленных норм (ПДК/TLV); б) заданных уровней (5ПДК, 10ПДК); – по повторяемости (наибольшей) концентраций в воздухе (% случаев за год, за месяц) выше: а) установленных норм (ПДК); б) заданных уровней (5ПДК, 10ПДК); – по кратности превышения (% случаев) показателей загрязнения (ПЗ) нормативных значений относительных интегральных критериев (ПДЗ); 4) по комплексным характеристикам опасности смесей химических веществ с учетом изменения эффекта биологического действия при совместном воздействии двух и более веществ одновременно (аддитивное, синергетическое, антагонистическое действия).</p>

Оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха по данным проявления токсического процесса у биологических объектов

Наряду с описанным выше подходом оценки опасности в практике применяются подходы, основанные на оценке рисков воздействий загрязнителей атмосферы на биологические объекты. В некоторых странах существуют системы управления в области охраны атмосферного воздуха, которые связаны с изучением рисков токсического действия вредных веществ и заболеваемости населения.

Данный метод оценки опасности при воздействии на биологические объекты основан на изучении проявлений токсических

процессов. Токсичность проявляется и может быть изучена в процессе воздействия на биологические объекты разного уровня организации (органы, организмы, группы организмов, популяции и т.д.). В качестве объектов воздействия обычно рассматривается человек, животные, растения и биосфера. В настоящее время методики определения безопасных уровней воздействий (*ПДК*, *RfC*) построены на основе проведения токсикологических экспериментов на животных и иногда на людях [18 – 20, 37, 41, 45 – 48, 60, 61, 64 – 69, 73 – 77, 79 – 83, 100]. Для основных биологических объектов виды воздействий и принятые критерии для оценки риска обобщены в таблице 6.

Таблица 6. – Объекты негативного воздействия и критерии оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха

Объекты воздействия	Негативные эффекты	Виды воздействий	Количественные критерии и показатели для оценки опасности
человек	болезни органов дыхания, крови, заболеваемость сердечно-сосудистой и центральной нервной системы	хроническое	предельно допустимая среднесуточная концентрация вещества в атмосферном воздухе (<i>ПДК_{с.с.}</i>); максимально недействующая концентрация (<i>МНК</i>); референтная концентрация (<i>RfC</i>); пороговый уровень воздействия, при котором не наблюдается вредный эффект (<i>NOAEL_{ch}</i>).
		острое	референтный уровень острых ингаляционных воздействий на население (<i>ARfC</i>); пороговый уровень острого воздействия, при котором не наблюдается вредный эффект (<i>NOAEL_{ac}</i>).
	рефлекторные реакции	рефлекторное	предельно допустимая максимально разовая концентрация вещества в атмосферном воздухе (<i>ПДК_{м.р.}</i>); порог ощущения запаха вещества
	онкологические заболевания, новообразования	канцерогенное	единичный риск (<i>UR</i>) для оценки канцерогенного действия вредного вещества или фактор канцерогенного потенциала (<i>SF_i</i>) при ингаляционных воздействиях
животные	отклонения биологических показателей и характеристик состояния организма от нормы или уровня фона; заболеваемость органов дыхания, крови, заболеваемость сердечно-сосудистой и центральной нервной системы и т.д.	хроническое	порог хронического общетоксического действия (<i>P_{ch}</i>); пороговый уровень воздействия, при котором не наблюдается вредный эффект (<i>NOAEL_{ch}</i>)
		острое	пороговый уровень острого воздействия, при котором не наблюдается вредный эффект (<i>NOAEL_{ac}</i>)
растительность, деревья	скрытые и хронические повреждения, снижение устойчивости фитоценозов	хроническое	предельно допустимая среднесуточная концентрация вещества в атмосферном воздухе для растительности (<i>ПДК_{с.с.}</i>)
	острые повреждения и существенное снижение фиторазнообразия	острое	предельно допустимая максимально разовая концентрация вещества в атмосферном воздухе для растительности (<i>ПДК_{м.р.}</i>)
Биосфера	повреждение среды обитания и снижение устойчивости биосферы	хроническое	предельно допустимая среднесуточная концентрация вещества в атмосферном воздухе для биосферы (<i>ПДК_{с.с.}</i>)
	значительные нарушения среды обитания и снижение биоразнообразия	острое	предельно допустимая максимально разовая концентрация вещества в атмосферном воздухе для биосферы (<i>ПДК_{м.р.}</i>)

Оценка опасности негативного воздействия веществ связана с изучением характеристик и параметров токсического процесса на основе зависимостей «доза-эффект». Каждое вещество может отличаться широким спектром проявлений токсического процесса, особенностями воздействия на объекты и спецификой действия, основным видом токсического действия (общетоксическое, раздражающее, канцерогенное, аллергенное, мутагенное и т.д.), особенностями появлений токсического процесса, количественными показателями зависимости «доза-эффект» и т.д.

Оценка зависимости «доза-эффект» осуществляется чаще всего путем проведения экспериментов на животных [45, 47, 48, 53, 60 – 62, 64 – 68, 73, 74]. Такие эксперименты направлены на установление количественных характеристик и параметров этой зависимости, которая представляет собой связь между дозой/

концентрацией и степенью выраженности того или иного эффекта при токсическом воздействии.

Риск возникновения того или иного эффекта оценивают по частоте возникновения характерных опасных событий [60]. На основании опытных данных определяются параметры зависимости «доза-эффект», которая представляет собой логнормальную кривую, где процент животных с положительной реакцией на воздействие является функцией концентрации и времени действия вещества. В общем виде такая зависимость в координатах «логарифм концентрации – вероятность эффекта» имеет вид S-образной кривой, как это показано на рисунке 1. Основным параметром зависимости является величина среднеэффективной концентрации (EC_{50}), при которой наблюдается негативный эффект у 50-ти процентах подопытных животных.

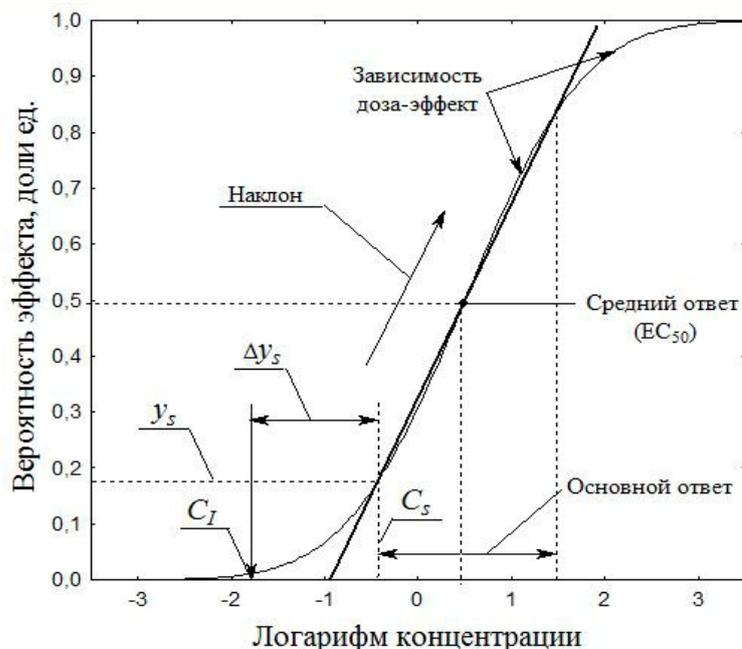


Рисунок 1. – Пример типовой зависимости «доза-эффект»

На основе методики, которую разработал Годдам [20], по зависимости «доза-эффект» можно оценить максимально недействующую концентрацию вредного вещества. Для этого на графике S-образной кривой выделяют участок, в пределах которого зависимость имеет линейный характер. Далее находят крутизну этой прямой (b) по отношению к оси абсцисс и определяют пороговый эффект (y_s) и безопасную концентрацию (C_l):

$$y_s = t \cdot \delta ; \log(C_l) = \log(C_s) - \Delta y_s ; \Delta y_s = 6 \cdot \frac{\delta}{b}, (3)$$

где t – коэффициент Стьюдента; δ – величина стандартного отклонения, определяемая из опыта. Максимально недействующую концентрацию (MHK) принимают равной значению безопасного уровня C_l . Концентрацию C_s определяют по значению величины y_s [20, 60].

По интенсивности воздействия вероятностные зависимости «доза-эффект» определяются для различных видов воздействий, при этом реакции на загрязнение атмосферы могут иметь различные формы. В зависимости от времени и концентрации воздействия различают острое, подострое, хроническое воздействие [60].

Острое воздействие – кратковременное действие вредного или опасного фактора окружающей среды (не более 24 часов) на объекты живой природы, приводящее к резкому изменению биологических показателей на уровне целостного организма, которые выходят за пределы приспособленческих физиологических реакций, или такое действие, что вызывает необратимую деградацию экосистемы. Для данного вида воздействия данные о зависимости «доза-эффект» собираются в опыте при высоких значениях концентраций и малых временах действия вредного вещества.

Подострое воздействие характеризуется максимальной длительностью подострых экспозиций, которая составляет 10 – 12% средней продолжительности жизни, что соответствует для человека 8 годам, для крыс и мышей – 13 неделям. Концентрации веществ при подостром воздействии обычно меньше концентраций наблюдаемых при остром воздействии, но выше чем при хроническом.

Хроническое воздействие – длительное воздействие вредных или опасных факторов окружающей среды (превышающее 10 – 12 % средней продолжительности жизни), создающее угрозу жизни или приводящее к хроническим заболеваниям, скрытым повреждениям или физическим дефектам у объектов воздействия или наносящее им вред. Хроническое отравление связано с постепенным накоплением яда в органах и тканях. В данном случае данные о зависимости «доза-эффект» собираются в опыте при невысоких значениях концентраций и значительных временах действия вредного вещества (для мышей это 3 – 4 месяца).

По характеру воздействия на организм согласно ГОСТ 12.0.003-74 вещества подразделяются на:

- общетоксические – вызывающие отравление всего организма или поражающие отдельные системы (центральную нервную систему, систему кроветворения), а также вызывающие патологические изменения печени и почек (угарный газ, свинец, ртуть, бензол);

- раздражающие – вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов (хлор, аммиак, оксиды серы и азота, озон);

- сенсibilизирующие – действующие как аллергены (формальдегид, растворители, нитролаки);

- мутагенные – приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы);

- канцерогенные – вызывающие различные злокачественные опухоли и новообразования (ароматические углеводороды, хром, никель, асбест);

- влияющие на репродуктивную функцию (ртуть, свинец, стирол).

Три последних вида воздействия вредных веществ – мутагенное, канцерогенное, репродуктивное, а также ускорение старения, относят к отдаленным последствиям влияния химических соединений на организм. Подобное специфическое действие проявляется спустя годы, и даже десятилетия.

По характеру действия на организм также выделяют нейротропные и цитотоксические химические вещества.

Параметры токсикометрии вредных веществ лежат в основе их классификации по степени опасности. Как указывалось выше, промышленные яды в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 подразделяются на четыре класса опасности.

Принадлежность химических веществ к соответствующему классу опасности определяется величинами семи показателей (табл. 7, [60]). Определяющим является тот показатель, который свидетельствует о наибольшей степени опасности токсикометрии. Данные показатели позволяют также оценить параметры зависимости «доза-эффект» при различных видах воздействий.

В целом считается, что более опасны долговременные воздействия малых концентраций, чем кратковременные, но высокие значения концентраций веществ [22].

Самой сложной проблемой в токсикологии является проблема оценки порогов для всех видов воздействий вредных веществ как основы для гигиенического нормирования, особенно таких, как мутагенное, blastomogenное или сенсibilизирующее действие химических веществ.

Таким образом, оценка опасности токсического действия загрязнителей атмосферного воздуха проводится по показателям, видам и характеристикам вредности химических веществ, по продолжительности и порогам вредного действия веществ, по характеристикам и параметрам зависимости «доза-эффект».

Таблица 7. – Параметры токсикометрии, используемые для установления опасности химических загрязнителей атмосферного воздуха

Показатели токсикометрии	Обозначение	Количественные критерии для класса опасности			
		I	II	III	IV
Средняя смертельная концентрация, мг/м ³	CL_{50}	< 500	500 – 5000	5001 – 50000	> 50000
Средняя смертельная доза, мг/кг	DL_{50}	< 15	15 – 150	151 – 1500	> 1500
Зона острого действия	Z_{ac}	< 6	6 – 18	18,1 – 54	> 54
Зона хронического действия	Z_{ch}	> 625	625 – 126	125 – 25	< 25
Зона биологического действия	Z_{biol}	> 50000	50000 – 5001	5000 – 500	< 500
Зона специфического действия	Z_{sp}	> 9	9 – 3,1	3 – 1,0	< 1,0
Значение наименьшей величины порога хронического действия, мг/м ³	Lim_{ch}	< 0,01	0,01 – 0,1	0,11 – 1,0	> 1,0
Значение максимально недействующей или минимально неэффективной концентрации (с учетом спонтанного фона), мг/м ³	MHK	< 0,001	0,001 – 0,01	0,011 – 0,5	> 0,5

В целом существующий подход к оценке опасности загрязнения атмосферного воздуха по данным проявления токсического процесса представлен в таблице 8.

Анализируемый выше подход к оценке опасности токсического воздействия на биологические объекты ориентирован на использование сравнительно полной информации о токсическом воздействии веществ на различные организмы в широком диапазоне изменения времени воздействия и концентрации загрязняющего вещества.

Положительным фактом данного подхода является его информативность, связанная с использованием обширной информации о различных спектрах негативных воздействий на различных реципиентов. Если область применения предыдущего подхода к оценке опасности ограничена определенными рамками используемых санитарно-гигиенических норм, ориентированных на человека, то область применения подхода, основанного на изучении проявлений токсического процесса, существенно шире. Основным недостатком подхода является пока что слабая изученность зависимостей «доза-эффект» и существенная неопределенность в данных для многих веществ по отношению ко многим биологическим объектам. Сложность этой задачи связана с

необходимостью изучения токсического действия широкого спектра веществ по отношению к человеку, животным и растениям, при самых разных временах и концентрациях действия веществ, а также при изучении различных форм проявлений токсического процесса на разных уровнях организации жизни. Именно поэтому, полная характеристика зависимостей «доза-эффект» существует пока для ограниченного списка веществ.

Данный подход использует вероятностную оценку опасности, на основе определения рисков негативных эффектов в зависимости от времени и концентраций воздействия вещества, причем опасность воздействия на биологические объекты определяется исходя из непосредственно нанесенного вреда. Конечным результатом данного методологического подхода является полное представление о загрязнении атмосферного воздуха для широкого перечня вредных веществ и оценка рисков заболеваемости населения или возникновения других негативных эффектов при реализации опасных событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха. Это позволяет разрабатывать мероприятия по охране здоровья населения.

Таблица 8. – Система оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами по данным проявления токсического процесса у биологических объектов

Характер действия и формы проявления токсического процесса при воздействии	Характеристик и параметры токсического процесса	Оценка опасности токсического действия
<p>1) на человека и животных:</p> <ul style="list-style-type: none"> – болезни химической этиологии (интоксикации, отравления); – транзиторные токсические реакции (состояния, сопровождающиеся кратковременной утратой дееспособности – раздражение глаз, дыхательных путей); – аллобиоз (стойкие изменения реактивности организма на воздействие факторов среды, психические и физические нагрузки (аллергия, иммуносупрессия, повышенная утомляемость); – специальные токсические процессы (развиваются у части популяций в особых условиях – канцерогенез, эмбриотоксичность, нарушение репродуктивных функций). <p>2) на растительность: нарушение регуляторных функций биологических мембран, разрушение и подавление синтеза пигментов, инактивация важных ферментов из-за распада белков, подавление фотосинтеза, активация окислительных ферментов и дыхания, увеличение транспирации и изменение соотношения форм воды в клетке, что ведет к нарушению строения хлоропластов, к плазмолизу клетки, повреждению ассимиляционных органов, усилению старения, развитию видимых симптомов повреждения (хлорозы и некрозы) тканей листа.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – по пороговому и беспороговому принципу действия; – по времени (продолжительности) воздействия токсиканта на биообъект (острая, подострая, хроническая формы проявления токсического процесса); – по локализации патологического процесса (местный, общий, смешанный или избирательный характер действия); – по интенсивности воздействия токсиканта, определяющейся дозозависимыми особенностями действия (тяжелая, средняя и легкая степень тяжести проявления токсического эффекта). 	<p>1) по показателям, видам и характеристикам вредности химических веществ:</p> <ul style="list-style-type: none"> – по лимитирующему (определяющему) показателю вредности; – по специальным видам токсического действия (иммунотоксичность, мутагенез, канцерогенез, тератогенез и влияние на репродуктивную функцию), а также сенсibiliзирующему действию; – по классам опасности/канцерогенности, факторам канцерогенного потенциала SF_i; – по показателям кумулятивности (коэффициент кумуляции $K_k = \sum LD_{50} / LD_{50}$, степень кумуляции $S = LD_{50} / \sum LD_{50}$, %); <p>2) по продолжительности и порогам вредного действия вещества:</p> <ul style="list-style-type: none"> – по периодам времени (за ожидаемую продолжительность жизни человека – 70 лет, период усреднения для хронических воздействий для взрослых – 30 лет, для детей в возрасте до 6 лет – 6 лет, для условий кратковременного непрерывного воздействия продолжительностью экспозиции от 5 – 30 мин. до 6 – 8 или 24 часов), 10 – 12 % средней продолжительности жизни, что составляет для человека 8 лет, для крыс и мышей – 13 недель; – по порогам: острого Lim_{ac} ($PK_{oemp.}$), острого избирательного (специфического) $Lim_{ac sp}$, подострого $Lim_{sub ac}$, хронического общетоксического $Lim_{ch int}$ ($PK_{xp.}$), хронического специфического (отдаленных эффектов) $Lim_{ch sp}$, сенсibiliзирующего Lim_{al}, раздражающего Lim_{ir} действий; ощущения неспецифического запаха Lim_{olf} и т.д. <p>3) по характеристикам и параметрам зависимости «доза-эффект»:</p> <ul style="list-style-type: none"> – по концентрациям веществ, вызывающим заданный % неблагоприятных эффектов в группе биообъектов (смертность, заболеваемость) при определенной экспозиции (2 – 4 ч. – в остром эксперименте; 10 – 15 % времени жизни животного (для белых крыс – 3 мес.) – в хроническом эксперименте для выявления общетоксического действия; не менее трети продолжительности жизни (для наиболее распространенных экспериментальных животных (мыши, крысы) – 12 мес.) – в хроническом опыте для выявления канцерогенного действия и т.д.): $CL_{100}, CL_{95}, CL_{50}, CL_{84}, CL_{16}, CL_5, CL_0$); – по различным критериям оценки уровней неблагоприятных воздействий: а) по доверительным границам концентрации/дозы, рассчитанной с заданной вероятностью эффекта: порог обнаружения запаха; б) по концентрациям, не вызывающим/вызывающим неблагоприятные эффекты: $LOAEL, LOEL, NOAEL, NOEL, FEL, AEL, REL, WEEL, EAL, RfC, A RfC, A EGL$ (уровни острого воздействия, США), ADD (пожизненная средняя суточная доза) $ПДК/TLV, ПДУ/PEL, OELs, OES, MAR, ADI, TDI, HA, PNEL, LARC, ADC, MHC, МДК$; – по комплексу показателей выражения эффективной токсичности (коэффициент опасности ингаляционного отравления ($KВИО$), коэффициент варибельности смертельных концентраций CL_{84}/CL_{16}, функция $S = ((CL_{84}/CL_{50}) + (CL_{50}/CL_{16}))/2$ угла наклона кривой смертельных концентраций к абсцисс, величина зоны острого ($Z_{ac} = CL_{50}/Lim_{ac}$), хронического ($Z_{ch} = Lim_{ac}/Lim_{ch}$) и биологического ($Z_{biol} = CL_{50}/Lim_{ch}$) действия и т.д.

Опасные события и их риски при загрязнении атмосферного воздуха

Анализ риска представляет собой системную науку, охватывающую разные области жизнедеятельности человека и существующую на стыке многих областей знаний. В научно-методологическом плане данное направление является частью теории систем, в свою очередь, в научно-практическом плане оно связано с теорией и практикой безопасности систем. Анализ рисков предусматривает предупреждение опасных и негативных последствий действий опасности на объекты воздействия и обоснование управленческих решений по снижению уровня риска. Известно, что анализ риска состоит из трех взаимосвязанных процедур: оценки риска, управления риском и информирования о риске. Данные процедуры рассматривают в качестве важных системообразующих элементов мониторинга окружающей среды и социально-гигиенического мониторинга.

Несмотря на развитие многих областей научных исследований, ряд методологических и теоретических вопросов в области изучения опасности и риска проработан крайне слабо. Ещё в работе Маршала [96] отмечалось, что одно из наиболее существенных затруднений в обсуждении проблемы опасности и риска связано с отсутствием общей теории, построенной на использовании аналитических методов. Это объясняется тем, что опасности могут существовать во многих формах и проявлять свой разрушительный или вредный потенциал разными способами, а вероятности реализации опасностей изучены явно недостаточно, в связи с крайне ограниченным объемом опытных данных и случайностью наблюдения опасных событий.

Формирование процессов во многих природных, технических и антропогенных системах связано с изменением во времени их состояний. В зависимости от внешних и внутренних условий, в таких системах могут реализовываться различные процессы и наблюдаться разные события. Иногда возникают состояния, которые по определенным событиям, факторам или параметрам могут считаться неблагоприятными или опасными. Поэтому понятия опасности и риска характеризуют особые состояния природно-антропогенных и технических систем, которые по факторам безопасности требуют соответствующих методов их распознавания.

В этом плане основные проблемы в области экспериментального анализа опасностей и рисков связаны с установлением границ (уровней, порогов), когда процесс изменения состояния системы может быть отнесен по заданным факторам к безопасному

или опасному процессу. В свою очередь теоретические проблемы лежат в изучении вероятностных закономерностей формирования неблагоприятных и опасных событий при различных воздействиях, разработке подходов, представлений и гипотез для развития теорий, создании теоретических и аналитических методов анализа опасностей, построении вероятностных моделей риска и т.д.

Исходя из этого, создание теории опасности и риска возможно на основе обобщения экспериментально установленных закономерностей формирования опасных и неблагоприятных процессов в различных системах и вероятностных оценок опасных событий. В данной области имеется много нерешенных проблем, которые существуют как в системе понятий и определений, так и в анализе опытных данных, построении теорий и использовании математического аппарата. Имеющаяся терминология обладает целым рядом недостатков. Так, в настоящее время есть более 25 определений риска и порядка 10 наиболее употребляемых определений опасности, отображающих разные подходы к данной проблеме [109].

Тем не менее, сегодня выработан ряд общепризнанных понятий и положений, являющихся основой для развития теории систем, которые могут находиться в неблагоприятных и опасных состояниях. На основе рассмотрения окружающей среды и объекта воздействия как целостной системы можно сформировать основные положения и определения, которые позволят прийти к теоретическому описанию опасных систем. Некоторые такие определения и понятия были введены в начале статьи.

Весь анализ опасностей, связанных с природными явлениями и деятельностью человека, основан на опыте и практике изучения опасных событий. Для того, чтобы иметь возможность применить феноменологические методы анализа событий при оценке опасности, сформируем понятие опасной системы в следующем виде.

Опасная система – концептуальная совокупность окружающей среды, формирующей опасность, и объекта воздействия, находящегося под действием опасного фактора среды, который с течением времени обеспечивает появление у данного объекта неблагоприятных эффектов и негативных последствий или приводит к наблюдению других опасных или нежелательных событий.

Таким образом, опасность, в целом, являясь, важной категорией теории опасности и риска, определяется множеством опасных состояний системы, соответствующим образом

выделенных по значениям параметров фактора опасности и факторам риска из общего множества всех состояний, при этом опасное событие во всех случаях является первостепенным.

Известно, что подавляющее большинство физических, экологических, природно-антропогенных, экономических и социальных систем относится к категории сложных. Каждая из таких систем характеризуется своим определенным набором свойств и закономерностей, перечнем характерных параметров, а также особенностями перехода из одного состояния в другое. В процессе смены состояний любой сложной системы происходит последовательное изменение её параметров во времени. При этом, многие системы могут находиться либо в опасном, либо в безопасном состоянии. В любой момент времени состояние системы будет определено совокупностью наблюдаемых значений ее параметров. Причем опасность состояния системы может определяться по совокупности значений ее параметров, которые превышают или не достигают заданных пороговых значений, а также возможно попадают в определенные нежелательные диапазоны. Если исходить из предложенного представления о состоянии системы, то вполне можно определить области опасных или неблагоприятных состояний. Для этого следует указать уровни, пороги или диапазоны опасных (безопасных) изменений количественных параметров, характеризующих ту или иную систему. Данная задача методически в экспериментальном плане практически решена. Однако не для всех опасных систем имеется необходимых объем опытных данных, который бы позволил с высокой достоверностью найти указанные выше уровни, пороги или диапазоны для широких областей определения параметров, характеризующих состояния систем.

Кроме того, оценка риска проводится на основе событий, которые отражают появление некоторых неблагоприятных или опасных состояний, эффектов или последствий. При загрязнении атмосферного воздуха такая оценка обычно проводится по двум параметрам фактора опасности – концентрации вредного вещества и времени его воздействия на биологический объект. При построении функций риска оценивают вероятности указанных выше совместных событий одновременного наблюдения параметров опасности, а также других индикаторных неблагоприятных событий – эффектов, связанных с катастрофическим загрязнением воздуха, заболеваемостью, смертностью и т.д.

В экологическом и социально-гигиеническом мониторинге подобные события

могут быть систематизированы на основе общего подхода оценки рисков опасных событий следующим образом.

1. При загрязнении воздуха одним вредным веществом в момент наблюдения реализуется событие, связанное с определением концентрации вещества в атмосферном воздухе, как характеристической величины данного события. Наблюдения осуществляются на постах и все последовательности наблюдений представляются временными рядами, каждый из которых относится к определенному объекту – посту контроля загрязнения атмосферы. Все события являются несовместными.

Для случайной величины вероятность события, что наблюдаемая концентрация C вредного вещества меньше некоторого заданного значения c , определяется из функции распределения $P(c) = P(C < c)$, которая находится по данным наблюдений. Данная функция распределения чаще всего подчиняется логнормальному закону распределения.

На одном контрольном посту все наблюдаемые события (за год, месяц, сутки, с периодичностью 6 часов и т.д.) образуют полную группу. Для дискретных событий

$$\sum_{i=1}^k P_i = 1, \text{ для непрерывных случайных величин}$$

$$\int_0^{\infty} f(c)dc = 1, \text{ где } i - \text{ текущий номер}$$

наблюдения событий в разные моменты времени, k – количество наблюдений, а $f(c)$ – функция распределения случайной величины, причем $c \geq 0$.

Все события, связанные с загрязнением воздуха, могут быть оценены по фактору опасности, исходя из безопасной границы, опасного процесса путем определения коэффициента опасности:

$$HI = c / I, \quad (4)$$

где I – порог (уровень) безопасного воздействия при загрязнении атмосферного воздуха (хронического, острого и т.д.), заданный в тех же единицах, что и концентрация вещества. Это позволяет сортировать опасные события и провести их ранжирование по степени опасности. Такая оценка обычно производится для определенного вида негативного воздействия, на основе использования различных безопасных уровней (например, $ПДК_{с.с.}$, $ПДК_{м.р.}$, RfC_{ch} , RfC_{ac} и т.д.). Вероятность таких событий может выступать в виде рисков нарушения качества атмосферного воздуха.

Если ведутся наблюдения одного вредного вещества на нескольких постах (например, на территории города), то все события также образуют полную группу или их

вероятности могут быть нормируемы. Для дискретных событий $\sum_{i=1}^m P_i = 1$, для непрерывных случайных величин $\int_0^{\infty} f(c)dc = 1$, где i – номер контрольного поста наблюдения, c – среднегодовая (среднемесячная, среднесуточная) концентрация, m – количество контрольных постов наблюдения, а $f(c)$ – функция распределения случайной величины, которая оценивается по данным для всех контрольных постов. Все события в данном случае можно рассматривать как совместные, так как они привязываются к одному и тому же моменту времени – суткам, месяцам, годам.

Аналогичным образом могут быть оценены вероятности событий при загрязнении атмосферного воздуха в различных городах. В этом случае значения концентраций (например, среднегодовых, среднемесячных) относятся к объектам, в качестве которых выступают города или населенные пункты, где ведутся наблюдения. События в этом случае также можно считать совместными.

Вероятности указанных выше событий наблюдений концентрации одного вредного вещества (на одном посту, на группе постов, в группе городов) изучаются при решении задач экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

2. При загрязнении воздуха несколькими вредными веществами на контрольном посту (в населенном пункте) реализуется совместное событие одновременного наблюдения суммарного загрязнения.

Для данного совместного события, в случае если все события независимы, вероятность сложного события равна произведению вероятностей более простых событий

$$P_n(c) = P(c_1) \cdot P(c_2) \cdot \dots \cdot P(c_n), \quad (5)$$

где c_1, \dots, c_n – концентрации различных вредных веществ.

Для зависимых событий вероятность сложного события будет равна

$$P_n(c) = P(c_1) \cdot P_{c_1}(c_2) \cdot \dots \cdot P_{c_{n-1}}(c_n), \quad (6)$$

где условные вероятности $P_{c_{i-1}}(c_i)$, вычисляются в предположении, что все предыдущие события, связанные с загрязнением воздуха, произошли. Вероятности таких событий могут быть оценены по опытным данным путем определения распределений сложных и более простых событий и изучения взаимосвязей между ними.

Все подобные совместные события, связанные с загрязнением воздуха, могут быть оценены по фактору опасности, исходя из

классификации состояния загрязнения атмосферы, например, путем использования комплексных индексов и выделения категорий опасности (1). Это позволяет классифицировать сложные совместные события и провести их ранжирование по степени опасности. Такая оценка производится на основе использования безопасных уровней для каждого из контролируемых веществ. Вероятность таких событий также может выступать в виде рисков нарушения качества атмосферного воздуха по комплексу показателей. Вероятности указанных выше совместных событий изучаются при решении задач экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

3. При загрязнении воздуха одним вредным веществом и наблюдении в воздухе некоторой опасной концентрации за определенный период времени может реализоваться сложное событие j возникновения негативного эффекта у биологического объекта (например, физиологическое отклонение, заболевание, смерть).

Экспериментально такая оценка проводится в группе особей по частоте событий j , которая превышает некоторое пороговое значение вероятности (например, 5 %), чтобы исключить спонтанные эффекты. Вероятность спонтанных эффектов определяется в опыте с контрольной группой, которая находится при безопасных условиях окружающей среды. Вероятность опасного события j определяется в виде функции риска для определенного вида воздействия (хронического, острого, канцерогенного и т.д.)

$$R_j(c) = w_j(c) \cdot P(c), \quad (7)$$

где $w_j(c)$ – условная вероятность нанесения вреда человеку (биосистеме, объекту) в случае реализации опасности наступлении негативных событий j при загрязнении атмосферного воздуха вредным веществом с концентрацией величиной c ; $P(c)$ – вероятность загрязнения воздуха вредным веществом с концентрацией величиной c .

В качестве условной вероятности может выступать экспериментально определенная зависимость «доза-эффект» для изучаемого вредного вещества и заданного вида негативного воздействия.

Вероятности сложных событий j изучаются преимущественно при решении задач социально-гигиенического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

4. При загрязнении воздуха одним вредным веществом и наблюдении в воздухе различных опасных концентраций этого

вещества в разные моменты времени может реализоваться сложное событие j возникновения негативного эффекта у биологического объекта. Вероятность такого сложного опасного события j определяется в виде функции риска для определенного вида воздействия (хронического, острого, канцерогенного и т.д.)

$$R_j(c) = \sum_{i=1}^m w_j(c_i) \cdot P(c_i), \quad (8)$$

где $w_j(c)$ – условная вероятность нанесения вреда человеку (биосистеме, объекту) в случае реализации опасности наступлении негативных событий j при загрязнении атмосферного воздуха вредным веществом с концентрацией величиной c_i ; $P(c_i)$ – вероятность загрязнения воздуха вредным веществом с концентрацией величиной c_i , i – текущий номер наблюдения событий в разные моменты времени, m – количество наблюдений. При этом события загрязнения воздуха образуют полную группу несовместных событий, т.е. $\sum_{i=1}^m P(c_i) = 1$.

В данном случае в качестве условных вероятностей $w_j(c_i)$ также может выступать зависимость «доза-эффект» для изучаемого вредного вещества и заданного вида негативного воздействия. Вероятности таких событий изучаются в задачах оценки риска загрязнения атмосферного воздуха. Для оценки вероятностей достаточно иметь опытные данные по мониторингу загрязнения воздуха на контрольном посту или в населенном пункте и полную информацию о параметрах зависимости «доза-эффект» для определенного вещества.

5. При загрязнении воздуха несколькими вредными веществами на контрольном посту (в населенном пункте) и наблюдении в воздухе опасных концентраций веществ за определенный период времени может реализоваться сложное совместное событие j возникновения кумулятивного негативного эффекта у биологического объекта.

Экспериментально такая оценка проводится довольно редко, однако имеются сведения о совместном действии аммиака и сероводорода; аммиака, сероводорода и формальдегида; диоксида азота и диоксида серы; озона, диоксида азота и формальдегида; оксида свинца и диоксида серы; оксида углерода и пыли цементного производства и т.д. Подобное комбинированное действие установлено для порядка 60 смесей [23, 56].

Известно, что комбинированное действие вредных веществ – это одновременное или

последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления их в биологический организм.

Различают несколько различных видов комбинированного действия вредных веществ (табл. 2):

- аддитивное действие представляет собой феномен суммированных эффектов; при этом суммарный эффект равен сумме эффектов действующих компонентов;

- потенцированное действие (синергизм) отличается усилением вредного эффекта; Компоненты смеси действуют при этом так, что одно вещество усиливает действие другого; эффект комбинированного действия при синергизме больше аддитивного;

- антагонистическое действие представляет собой воздействие, при котором суммарный эффект меньше ожидаемого; Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого, а общий эффект меньше аддитивного.

- независимое действие формирует комбинированный эффект, который не отличается от изолированного действия каждого вредного вещества в отдельности; преобладает эффект наиболее токсичного вещества.

Без опытных данных оценить риски таких событий можно только для аддитивного и независимого действия веществ и то при условии введения некоторых гипотез о виде событий. Если считать, что соответствующие события загрязнения воздуха являются независимыми, а эффект биологического действия обладает простым свойством аддитивного действия, то риск такого совместного опасного события j определяется в виде функции риска для определенного вида воздействия (хронического, острого, канцерогенного и т.д.)

$$R_j(c) = R_{j,1}(c_1) \cdot R_{j,2}(c_2) \cdot \dots \cdot R_{j,n}(c_n), \quad (9)$$

где риски воздействия могут определяться согласно (8), а зависимости «доза-эффект» $w_{j,i}(c_i)$ задаются для каждого вредного вещества и вида негативного эффекта в отдельности. Здесь n – количество воздействующих вредных веществ.

Следует отметить, что при оценке риска подобные задачи решаются достаточно редко, что связано с недостаточностью знаний о возникновении различных негативных эффектов при совместном действии нескольких вредных веществ.

Из приведенного выше материала следует, что изучение связей между опасностью и риском возможно при наличии описания поведения изучаемой системы в виде многомерных распределений случайных

величин и опасных событий, которые могут быть представлены в виде функций состояния систем относительно комплекса показателей. Так как параметры загрязнения воздуха и вероятность различных событий тесно связаны между собой такой функцией состояния, то достаточно нормировать только или параметры фактора опасности или вероятность наблюдаемых событий. В каждом конкретном случае данный вопрос должен решаться исходя из особенностей изучаемой системы и имеющихся опытных данных.

Таким образом, безопасное состояние системы можно рассматривать как множество состояний, при которых значения всех параметров соответствуют определенно заданным требованиям. В свою очередь, опасное состояние системы – это множество состояний, при которых значение хотя бы одного параметра не соответствует требованиям, заданным по показателям безопасности. Это также справедливо, если регламентирована вероятность характерных наблюдаемых событий, тогда задаются области безопасных и опасных изменений параметров системы, исходя из заданного значения порога вероятности наблюдения неблагоприятного эффекта или опасного события. Как показано выше, на основе имеющихся опытных данных о загрязнении атмосферного воздуха и информации о зависимости «доза-эффект» может быть определена функция состояния системы, которая представляет собой многомерное распределение. Примеры построения таких функций по опытным данным с использованием методов системодинамики [106] приведены в статьях автора [107, 108]. На основе применения понятия функции состояния системы, представленной в виде вероятностей

или рисков $R_j = R_j \left(\frac{p_1}{p_{10}}, \frac{p_2}{p_{20}}, \dots, \frac{p_n}{p_{n0}} \right)$

относительно параметров фактора опасности p_i , опасных событий j и безопасных уровней p_{i0} возможно создание общей теории, основанной на применении аналитических методов, о которой, в свое время, упоминал Маршал [96]. Подобная теория может охватывать системы, где наблюдаются опасные процессы загрязнения окружающей среды.

Поэтому, исходя из приведенного выше материала, можно сформулировать несколько актуальных направлений научных исследований в области изучения таких опасных систем:

- **обобщение** существующих представлений об опасности и риске загрязнения окружающей среды, исходя из единого подхода вероятностной оценки состояний систем по совокупности показателей;

- классификация неблагоприятных и опасных событий при загрязнении окружающей среды и разработка теоретических и алгоритмических методов оценки вероятностей таких сложных событий для построения функций состояния опасных систем;

- разработка теории опасности и риска на основе применения феноменологических методов анализа опытных и статистических данных;

- разработка для практического применения феноменологических моделей опасных систем, где осуществляются процессы загрязнения окружающей среды.

Выводы

Сегодня в области загрязнения окружающей среды и оценки воздействий на биологические объекты накоплен огромный экспериментальный материал, который позволяет применить феноменологические методы анализа и описания данных, полученных в процессе наблюдений или опыта. Именно феноменология может дать возможность разработать теорию опасности и риска. Для этого существует несколько причин:

- имеются обширные массивы опытных данных в виде временных рядов показателей загрязнения окружающей среды и данные о негативных воздействиях факторов опасности на различные объекты. Сегодня не так уж много предметных областей, связанных с опасностями, где имеются подобные структурированные количественные данные;

- существуют феноменологические закономерности и зависимости, описывающие опытные данные и возможность применения апробированных феноменологических методов к совокупности результатов наблюдений или опыта. Подобные методы получили широкое распространение в физике сплошных сред и термодинамике;

- имеются реальные примеры разработки многомерных системодинамических моделей систем, состояния которых описываются комплексом природных, экологических, антропогенных, технологических и социальных параметров. Подобные модели позволяют предложить аналитические методы комплексной оценки систем, исходя из вероятностного анализа имеющихся опытных данных.

Все это указывает на реальность построения теории опасности и риска для природно-антропогенных систем, где наблюдаются процессы загрязнения окружающей среды.

Список литературы

1. Израэль Ю.А. Концепция мониторинга состояния биосферы: Уч. для вузов / Ю.А. Израэль – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 560 с.
2. Герасимов И.П. Научные основы мониторинга окружающей среды: уч. для вузов / И.П. Герасимов – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 560 с.
3. Кузнецова О.А. Научные основы экологического мониторинга. – Красноярск: СФУ, 2008. – 110 с.
4. Бочаров В.Л. Мониторинг природно-технических экосистем / В.Л. Бочаров, Ю.М. Зинюков, Л.А. Смоляницкий. Воронеж: Истоки, 2000. – 226 с.
5. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. В.К. Донченко. – С.-Пб.: Эколого-аналитич. информац. центр «Союз», 1998. – 896 с.
6. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. – М.: РУДН, 2003. – 430 с.
7. Сюткин В.М. Экологический мониторинг административного региона (концепция, методы, практика на примере Кировской области). – Киров: ВГПУ, 1999. – 232 с.
8. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Введен в действие 01.01.87, переизд. 01.07.05. М.: Стандартинформ. – 4 с.
9. Драмлич М., Иованович Курепа М. Автоматическая мониторинг-система наблюдения за загрязнением атмосферы воздушных бассейнов. Пер. ВИНТИ. М., 1982. – 14 с.
10. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Госком. СССР по гидрометеорологии – Минздрав СССР. 1991. – 691 с.
11. Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment / Text editing: David Breuer. WHO Regional Publications, European Series, No. 85.2. WHO, 1999. – 216 p.
12. Основные принципы организации и проведения социально-гигиенического мониторинга: инструкция по применению. Утв. 15.02.07, № 179-1206. – Минск, 2007. – 41 с.
13. МУ 2.1.6.792-99. Выбор базовых показателей для социально-гигиенического мониторинга (атмосферный воздух населенных мест). – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 28 с.
14. Briggs, David. Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies. Geneva: Nene Centre for Research, University College Northampton, WHO. 1999. Available online at: http://www.who.int/environmental_information/Information_resources/documents/Indicators/EHIndicators.pdf (04.05.14).
15. Методические указания по вопросам сбора, обработки и порядка представления данных об изменении в состоянии здоровья населения, связанных с загрязнением окружающей природной среды. МЗ СССР, Госкомгидромет, № 3861-85, 1985. – 44 с.
16. Положение о социально-гигиеническом мониторинге, приложенное к Приказу Госкомсанэпиднадзора России № 145. Утв. 06.10.94, № 1146.
17. Меренюк Г.В. Загрязнение окружающей среды и здоровье населения. – Кишинев: Штиница, 1984. – 144 с.
18. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
19. Р 2.1.10.19920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
20. Куценко С.А. Основы токсикологии. – С.-Пб.: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2002. – 395 с. – Электр. ресурс. URL: http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/toxycology.pdf; <http://optimalist.narod.ru/z-83.pdf> (17.05.14).
21. Израэль Ю.А. Проблемы охраны природной среды и пути их решения. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 48 с.
22. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. Пер. с англ. / Под ред. А.Ф. Туболкина. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
23. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) ДСП-201-97. МОЗ України: Затв. 09.07.97, № 201. – К., 1997. – 40 с.
24. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. Утв. 17.05.01, № 14. М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 14 с.
25. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных пунктов и мест отдыха населения». Утв. Минздравом Республики Беларусь 30.06.09, № 77 – 3 с.
26. ДБН А.2.2.-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. К.: Держбуд України, 2004. – 22 с.

27. Посібник до розроблення матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (до ДБН А.2.2.1-2003). Харків: УкрНДІПТБ, 2005. – 332 с.
28. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23. – Copenhagen: WHO, Regional Office for Europe, 1987. – 425 p.
29. Рекомендации по качеству воздуха в Европе. / Пер. с англ. – М.: Весь мир. – 2004. – 312 с.
30. Фомин Г.С., Фомина О.Н. Воздух. Контроль загрязнения по международным стандартам. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Протектор, 2002. – 432 с.
31. Новиков Г.В., Дударев А.Я. Санитарная охрана окружающей среды современного города. – Л.: Медицина, 1978. – 216 с.
32. Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды. Пер. с англ. / Р. Гудериан, У. Мэннинг, Р. Шуберт – М.: Мир, 1979. – 198 с.
33. Уорк К., Уорнер С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / Под ред. Е.Н. Теверовского. Пер. с англ., М.: Мир, 1980. – 544 с.
34. Хоружая Т.А. Оценка экологической опасности. – М.: Книга-сервис, 2002. – 208 с.
35. Реввель П., Реввель Ч. Среда нашего обитания: В 4 кн. Кн. 2. Загрязнения воды и воздуха. Пер. с англ. – М.: Мир, 1995. – 296 с.
36. Пинигин М.А. Гигиенические основы оценки суммарного загрязнения воздуха населенных мест // Гиг. и сан. – 1985, 1. – С. 66 – 69.
37. Покатилов Ю.Г. Биохимия биосферы и медико-биологические проблемы – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1993. – 155 с.
38. Введение в химию окружающей среды / Дж. Андруз, П. Бримблекумб, Т. Джикелс, П. Лисс. Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 271 с.
39. Геохимия окружающей среды / Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
40. Экологическая химия // Ф. Корте, М. Бахадир, В. Клайн, Я.П. Лай, Г. Парлар, И. Шайнет и др.; Под ред. Ф. Корте / Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 396 с.
41. Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. Экологическая эпидемиология. – М.: Академия, 2004. – 384 с.
42. Elsom D.M. Atmospheric Pollution: A Global Problem (2nd edition). – Oxford: Blackwell Publishers, 1995. – 422 p.
43. Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч., Лосев К.С. Экологическая безопасность. Общие принципы и российский аспект. – М.: МНЭПУ, 2001. – 330 с.
44. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха // Природопользование: Сб. научн. тр. – Минск: СтройМедиаПроект, институт природопользования, 2014. – Вып. 25. – С. 61 – 69. – Электр. ресурс. URL: http://ecology.basnet.by/journal/priroda25/PRIRODA_25_1.pdf (24.05.14).
45. Токсикометрия химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Под ред. Каспарова А.А., Санюцкого И.В. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1986. – 417 с.
46. Современные методы оценки влияния вредных факторов окружающей среды на здоровье населения // Н.В. Лебелева, В.Д. Фурман, В.А. Кислицин, Г.М. Земляная. – Электр. ресурс URL: <http://ehc.hut.ru/txt/rus/ariclour/art21.htm> (30.12.13).
47. Филов В.А. Вредные вещества в окружающей среде. Т. 8. 1992. – 328 с.; Т.10 1994. – 468 с.
48. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Справочник. Л.: Химия, 1987. – 191 с.
49. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем // Э. Вайнерт, Р. Вальтер, Т. Ветцель и др. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
50. Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей среды. – М.: Международный фонд конверсии, 1991. – 370 с.
51. Occupational exposure limits for airborne toxic substances a tabular compilation of values from selected countries. – Geneva: International Labour Office. 1993. – 455 p.
52. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука. 1979. – 278 с.
53. Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ // Ред. Кушнева В.С., Горшкова Р.Б. – М.: ИздАТ, 1999. – 272 с.
54. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Утв. Минздравом России. 27.04.03. – 200 с.
55. ГН 2.2.5.2308-07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Утв. Минздравом России 19.12.07, № 89. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008 – 59 с.
56. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Утв. Минздравом России 21.05.03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава РФ, 2003. – 86 с; ГН 2.1.6.2326-08 (дополнения и изменения к ГН 2.1.6.1338-03). Утв. Минздравом России 04.02.08, № 6. – 3 с.

57. ГН 2.1.6.1339-03. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Утв. Минздравом России 21.05.03. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 174 с.
58. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения. Утв. Минздравом республики Беларусь 30.06.09, № 75. – 138 с.
59. European Community-Environment-Air-Стандарты качества воздуха. – Электр. ресурс. URL: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> (23.06.14).
60. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Минздрав СССР; Главное санитарно-эпидемиологическое управление. Утв. Минздравом СССР 15.06.88, № 4681–88. 1989. – 110 с.
61. Методические указания к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны: МУ 2163-80. М.: Минздрав СССР, 1980. – 21 с.
62. Гигиенические критерии для обоснования необходимости разработки ПДК и ОБУВ (ОДУ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе населенных мест, воде водных объектов: ГН 1.1.701-98. М.: Госсанэпиднадзор России, 1998. – 6 с.
63. Николаевский В.С., Николаевская Т.В. Методика определения предельно допустимых концентраций вредных газов для растительности. – М.: МЛИ Госкомплес СССР, 1988. – 15 с.
64. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практика управления качеством окружающей среды. – С.-Пб.: Дейта, 1997. – 100 с.
65. Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. М.: Медицина, 1975. – 328 с.
66. Основы общей промышленной токсикологии: Руководство / Под ред. Н.А. Толоконцева, В.А. Филова. – Л.: Медицина, 1976. – Т. 1 – 3.
67. Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия) / Под ред. И.В. Саноцкого. М.: Медицина, 1970. – 317 с. – Электр. ресурс. URL: <http://lib2.rus.ec.books.sci/sanotskij.rar> (10.04.14).
68. Общая токсикология // Ред. Б.А. Курляндский, В.А. Филова. – М.: Медицина, 2002 – 608 с.
69. Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейчик Е.Л. Популяционная экотоксикология. – М.: Наука, 1994. – 80 с.
70. Голиков С.Н., Саноцкий И.В., Тиунов Л.А. Общие механизмы токсического действия. – Л.: Медицина, 1986. – 279 с.
71. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: Олита, 1996. – 207 с.
72. МосМР 2.1.9.004-03. Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Санэпидмедиа, 2003. – 56 с.
73. Вредные химические вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей // Н.В. Лазарев. – Т. 1 – 9 Л.: Химия, 1954 – 1977, 2015.
74. Голубев А.А., Люблина Е.И., Толоконцев Н.А., Филова В.А. Количественная токсикология. Л.: Медицина, 1973. – 288 с.
75. Общие вопросы промышленной токсикологии. // Ред. А.В. Рошин, И.В. Саноцкий. М.: Медицина, 1967. – 325 с.
76. Саноцкий И.В. Вопросы гигиенического нормирования при изучении отдаленных последствий воздействия промышленных ядов. – М.: Медицина, 1972. – 191 с.
77. Косоротов Д.П. Краткий учебник токсикологии. – С.-Пб.: Типогр. Я. Третья, 1907. – 264 с.
78. Влияние загрязнений воздуха на растительность. Причины, воздействие, ответные меры // С. Бортитц, Х.Г. Деслер, Х. Эндерляйн и др. – Л.: Лесная промышленность, 1981. – 181 с.
79. Лазарев Н.В. Основы промышленной токсикологии. – Л.: Медгиз, 1938. – 388 с.
80. Токсикологическая химия // С.А. Ерёмин, С.К. Ерёмин, Г.И. Калетин, Н.И. Калетина, А.Е. Коваленко, Е. Симонов, А. Скальный, Р.У. Хабриев; Под ред. Р.У. Хабриева, Н.И. Калетиной. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 752 с.
81. Оксенгендлер Г.И. Яды и организм. Проблемы химической опасности. – С.-Пб.: Наука, 1991 – 320 с.
82. Саноцкий И.В., Смирнова О.Н. Краткий обзор документов с перечнем данных о токсичности и опасности веществ, разработанных в разных странах // Гиг. тр. и профзабол. – 1989, 3. – С. 33 – 36.
83. Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К. Справочник биохимика. Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 544 с.
84. National Emission Standards. US EPA, Washington, April 1978.

85. МР 2.2.12-142. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». 2007. Затв. Наказом МОЗ України 13.04.07 № 184. К.: М-во охорони здоров'я України, 2007. – 40 с.
86. Guidelines for Ecological Risk Assessment // U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, DC, 1998. – 114 p. – Электр. ресурс. URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?deid=12460> (21.06.14).
87. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Утв. Минздравом СССР 29.09.88 № 3388, издание 5. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 71 с.
88. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Утв. 10.03.76 № 579. М.: Стандартинформ. – 5 с.
89. Андерсон Ф.К., Трешоу М. Загрязнения воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 129 с.
90. Илькун Г.М. Газоустойчивость растений. – К.: Наук. думка, 1971. – 146 с.
91. Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. С.-Пб.: Наука, 1998. – 328 с.
92. Капранов С.В., Капранова Г.В., Пенская Л.А. Растения в ноосфере и здоровье населения. – Луганск: Янтарь, 2008. – 256 с.
93. Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide or oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, available at: <http://europa.eu.int> (15.01.2014).
94. Air quality guidelines for Europe. Second edition. Regional publications. – Copenhagen: WHO Regional office for Europe, 2000. – 288 p.
95. Методические рекомендации по определению реальной нагрузки на человека химических веществ, поступающих с атмосферным воздухом, водой и пищевыми продуктами. Утв. Минздравом СССР 30.03.82, № 2983-84 М. 1986. – 41 с.
96. Маршал В. Основные опасности химических производств. М.: Мир. – 1989. – 672 с.
97. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ («Токси»). М.: Ростехнадзор, 2005. – 67 с. – Электр. ресурс. URL: <http://www.safety.ru> (20.12.13).
98. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Утв. Ростехнадзором 13.05.15, № 188. – 57 с.
99. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 344 с.
100. Методические указания по установлению ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Утв. Минздравом СССР 25.11.82, № 2630-82. М.: Минздрав СССР, 1982. – 21 с.
101. Обґрунтування гігієнічних нормативів шкідливих хімічних речовин у різних середовищах на основі системного підходу: Методичні вказівки: МВ 1.1.5-088-02. Затв. Минздравом України 12.04.02 р., № 14. – К., 2002. – 55 с.
102. Toxicology and Risk Assessment. Principles, Methods, and Applications. Anna M. Fan, Louis W. Chang. 1996.
103. Risk vs. Risk. Tradeoffs in Protecting Health and the Environmental. Edited by John D. Graham and Jonathan Baert Wiener. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1995. – 337 pp.
104. Методические рекомендации «Организация исследований, связанных с оценкой экологического риска факторов городской среды для здоровья населения». Минприроды, 1993.
105. ДСТУ 2156-93. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994. – 31 с.
106. Аверин Г.В. Системодинамика. Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. – Электр. ресурс. URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/news/item/sistemodinamika> (20.05.14).
107. Zviagintseva A.V. Multiparameter ranking of areas based on the analysis of data about the condition of natural and anthropogenic systems // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2014. – №1 (6) – 2 (7). – Электр. ресурс. URL: <http://sait.csm.donntu.org>.
108. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: Примеры анализа и результаты // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2013. – №1(4) – 2(5). – С. 46 – 55. – Электр. ресурс. URL: <http://sait.csm.donntu.org> (17.05.14).
109. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Закономерности формирования опасных процессов в сложных системах // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, випуск 9 (132). – Донецьк: ДонНТУ. 2008 – С. 221 – 232.

References (transliteration)

1. Izrajel' Ju.A. Konceptcija monitoringa sostojanija biosfery: Uch. dlja vuzov [Konceptcija monitoringa sostojanija biosfery: Textbook for universities] / Ju.A. Izrajel' – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 560 p.
2. Gerasimov I.P. Nauchnye osnovy monitoringa okruzhajushhej sredy: uch. dlja vuzov [Scientific basis of environmental monitoring: Textbook for universities] / I.P. Gerasimov – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 560 p.
3. Kuznecova O.A. Nauchnye osnovy jekologicheskogo monitoringa [Scientific basis of environmental monitoring]. – Krasnojarsk: SFU, 2008. – 110 p.
4. Bocharov V.L. Monitoring prirodno-tekhnicheskikh jekosistem [Monitoring of natural-technical ecosystems] / V.L. Bocharov, Ju.M. Zinjukov, L.A. Smoljanickij. Voronezh: Istoki, 2000. – 226 p.
5. Kontrol' himicheskikh i biologicheskikh parametrov okruzhajushhej sredy [Monitoring of chemical and biological parameters of the environment] / Pod red. V.K. Donchenko. – S.-Pb.: Jekologo-analitch. informac. centr “Sojuz”, 1998. – 896 p.
6. Chernyh N.A., Sidorenko S.N. Jekologicheskij monitoring toksikantov v biosfere [Environmental monitoring of toxicants in the biosphere]. – M.: RUDN, 2003. – 430 p.
7. Sjutkin V.M. Jekologicheskij monitoring administrativnogo regiona (konceptcija, metody, praktika na primere Kirovskoj oblasti) [Environmental monitoring Administrative Region (concepts, methods, practice on the example of the Kirov region)]. – Kirov: VGPU, 1999. – 232 p.
8. GOST 17.2.3.01-86. Ohrana prirody. Atmosfera. Pravila kontrolja kachestva vozduha naselennyh punktov [The Nature Conservancy. Atmosphere. Rules of air quality of human settlements]. Vveden v dejstvie 01.01.87, pereizd. 01.07.05. M.: Standartinform. – 4 p.
9. Dramlich M., Iovanovich Kurepa M. Avtomaticheskaja monitoring-sistema nabljudenija za zagrijazneniem atmosfery vozдушnyh bassejnov [Automatic monitoring system for monitoring atmospheric pollution of air basins]. Per. VINITI. M., 1982. – 14 p.
10. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolju zagrijaznenija atmosfery [Guidelines for the Control of air pollution]. M.: Goskom. SSSR po gidrometeorologii – Minzdrav SSSR. 1991. – 691 p.
11. Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment / Text editing: David Breuer. WHO Regional Publications, European Series, No. 85.2. WHO, 1999. – 216 p.
12. Osnovnye principy organizacii i provedenija social'no-gigienicheskogo monitoringa: instrukcija po primeneniju [The basic principles of the organization and conduct of public health monitoring: Instructions for Use]. Utv. 15.02.07, no. 179-1206. – Minsk, 2007. – 41 p.
13. MU 2.1.6.792-99. Vybor bazovyh pokazatelej dlja social'no-gigienicheskogo monitoringa (atmosfera vozduh naselennyh mest) [The choice of benchmarks for public health monitoring (ambient air of populated areas)]. – M.: Federal'nyj centr gossanjepidnadzora Minzdrava Rossii, 2000. – 28 p.
14. Briggs, David. Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies. Geneva: Nene Centre for Research, University College Northampton, WHO. 1999. Available online at: http://www.who.int/environmental_information/Information_resources/documents/Indicators/EHIndicators.pdf (04.05.14).
15. Metodicheskie ukazanija po voprosam sbora, obrabotki i porjadka predstavlenija dannyh ob izmenenii v sostojanii zdorov'ja naselenija, svjazannyh s zagrijazneniem okruzhajushhej prirodnoj sredy [Guidance on the collection, processing and presentation of data on changes in health status associated with environmental pollution]. MZ SSSR, Goskomgidromet, no 3861-85, 1985. – 44 p.
16. Polozhenie o social'no-gigienicheskom monitoringe [Regulation on public health monitoring], prilozhennoe k Prikazu Goskomsanjepidnadzora Rossii no. 145. Utv. 06.10.94, no. 1146.
17. Merenjuk G.V. Zagrijaznenie okruzhajushhej sredy i zdorov'e naselenija [Environmental pollution and public health]. – Kishinev: Shtinica, 1984. – 144 p.
18. Osnovy ocenki riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdejstvii himicheskikh veshhestv, zagrijaznjajushhij okruzhajushhiju sredu [A framework for assessing health risk when exposed to chemicals that pollute the environment] / G.G. Onishhenko, S.M. Novikov, Ju.A. Rahmanin, S.L. Avaliani, K.A. Bushtueva. – M.: NII JeCh i GOS, 2002. – 408 p.
19. R 2.1.10.19920-04. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdejstvii himicheskikh veshhestv, zagrijaznjajushhij okruzhajushhiju sredu [Guidelines for the assessment of health risk when exposed to chemicals that pollute the environment]. – M.: Federal'nyj centr gossanjepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004. – 143 p.
20. Kucenko S.A. Osnovy toksikologii [Fundamentals of toxicology]. – S.-Pb.: Voenno-medicinskaja akademija im. S.M. Kirova, 2002. – 395 p. – Elektr. resurs. URL: http://biochem.vsmu.edu.ua/biochem_common_u/toxicology.pdf; <http://optimalist.narod.ru/z-83.pdf> (17.05.14).

21. Izrajel' Ju.A. Problemy ohrany prirodnoj sredy i puti ih reshenija [Problems of protection of the environment and ways of solving them]. L.: Gidrometeoizdat, 1984. – 48 p.
22. Bretshnajder B., Kurfjurst I. Ohrana vozdušnogo bassejna ot zagrjaznenij: tehnologija i kontrol' [Air protection from pollution: technology and control]. Per. s angl. / Pod red. A.F. Tubolkina. – L.: Himija, 1989. – 288 p.
23. Derzhavni sanitarni pravila ohoroni atmosfernogo povitryja naselenih misc' (vid zabrudnennja himichnimi ta biologichnimi rečovinami) [Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)]. DSP-201-97. MOZ Ukraïni: Zatv. 09.07.97, no. 201. – K., 1997. – 40 p.
24. SanPiN 2.1.6.1032-01. Gigienicheskie trebovanija k obespečeniju kachestva atmosfernogo vozduha naselennyh mest [Hygienic requirements for quality assurance of atmospheric air of populated areas]. Utv. 17.05.01, no. 14. M.: Informacionno-izdatel'skij centr Minzdrava Rossii, 2001. – 14 p.
25. Sanitarnye normy, pravila i gigienicheskie normativy "Gigienicheskie trebovanija k obespečeniju kachestva atmosfernogo vozduha naselennyh punktov i mest otdyha naselenija" [Sanitary norms, rules and hygienic standards "Hygienic requirements for air quality of human settlements and places of recreation"]. Utv. Minzdravom Respubliki Belarus' 30.06.09, no. 77 – 3 p.
26. DBN A.2.2.-1-2003. Sklad i zmist materialiv ocinki vpliviv na navkolishne seredovishhe (OVNS) pri proektuvanni i budivnictvi pidpriemstv, budinkiv i sporud [The composition and content of impact assessment (EIA) in the design and construction of plants, buildings and structures]. K.: Derzhbud Ukraïni, 2004. – 22 p.
27. Posibnik do rozroblennja materialiv ocinki vpliviv na navkolishne seredovishhe (do DBN A.2.2.1-2003) [Guide to development impact assessment on the environment (with SBR A.2.2.1-2003)]. Harkiv: UkrNDIINTV, 2005. – 332 p.
28. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series no. 23. – Copenhagen: WHO, Regional Office for Europe, 1987. – 425 p.
29. Rekomendacii po kachestvu vozduha v Evrope [Guidelines for air quality in Europe]. / Per. s angl. – M.: Ves' mir. – 2004. – 312 p.
30. Fomin G.S., Fomina O.N. Vozduh. Kontrol' zagrjaznenija po mezhdunarodnym standartam [Control of Pollution by international standards]. Spravochnik. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Protektor, 2002. – 432 p.
31. Novikov G.V., Dudarev A.Ja. Sanitarnaja ohrana okružhajushhej sredy sovremennogo goroda [Sanitary protection of the environment of the modern city]. – L.: Medicina, 1978. – 216 p.
32. Guderai R. Zagrjaznenie vozdušnoj sredy [Air pollution]. Per. s angl. / R. Guderian, U. Mjenning, R. Shubert – M.: Mir, 1979. – 198 p.
33. Uork K., Uorner S. Zagrjaznenie vozduha. Istochniki i kontrol' [Air pollution. Sources and control]. Per. s angl. / Pod red. E.N. Teverovskogo. Per. s angl., M.: Mir, 1980. – 544 p.
34. Horuzhaja T.A. Ocenka jekologicheskoj opasnosti [Assessment of environmental hazard]. – M.: Kniga-servis, 2002. – 208 p.
35. Revvel' P., Revvel' Ch. Sreda nashego obitanija: V 4 kn. Kn. 2. Zagrjaznenija vody i vozduha [Our environment. Kn.2. Water and air pollution]. Per. s angl. – M.: Mir, 1995. – 296 p.
36. Pinigin M.A. Gigienicheskie osnovy ocenki summarnogo zagrjaznenija vozduha naselennyh mest [Hygienic bases of estimation of the total air pollution populated areas] // Gig. i san. – 1985, 1. – pp. 66 – 69.
37. Pokatilov Ju.G. Biohimija biosfery i mediko-biologicheskie problemy [Biochemistry of the biosphere and biomedical problems]. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1993. – 155 p.
38. Vvedenie v himiju okružhajushhej sredy [Introduction to environmental chemistry]. / Dzh. Andruz, P. Brimblekumb, T. Dzhikels, P. Liss. Per. s angl. – M.: Mir, 1999. – 271 p.
39. Geohimija okružhajushhej sredy [Environmental Geochemistry]. / Saet Ju.E., Revich B.A., Janin E.P. i dr. – M.: Nedra, 1990. – 335 p.
40. Jekologičeskaja himija [Environmental Chemistry] // F. Korte, M. Bahadir, V. Klajn, Ja.P. Laj, G. Parlar, I. Shajnet i dr.; Pod red. F. Korte / Per. s nem. – M.: Mir, 1997. – 396 p.
41. Revich B.A., Avaliani S.L., Tihonova G.I. Jekologičeskaja jepidemiologija [Environmental epidemiology]. – M.: Akademija, 2004. – 384 p.
42. Elsom D.M. Atmospheric Pollution: A Global Problem (2nd edition). – Oxford: Blackwell Publishers, 1995. – 422 p.
43. Danilov-Danil'jan V.I., Zalihanov M.Ch., Losev K.S. Jekologičeskaja bezopasnost'. Obshhie principy i rossijskij aspekt [Ecological safety. General principles and Russian dimension]. – M.: MNJePU, 2001. – 330 p.
44. Kakareka S.V. Metodicheskie podhody k ocenke summarnogo zagrjaznenija atmosfernogo vozduha [Methodical approaches to the estimation of the total air pollution]. // Prirodopol'zovanie: Sb. nauchn. tr. – Minsk: StrojMediaProekt, institut prirodopol'zovanija, 2014. – Issue. 25. – pp. 61 – 69. – Elektr. resurs. URL: http://ecology.basnet.by/jornal/priroda25/PRIRODA_25_1.pdf (24.05.14).

45. Toksikometrija himicheskih veshhestv, zagrijaznjajushhih okruzhajushhuju sredu [Toxicology of chemicals that pollute the environment]. / Pod red. Kasparova A.A., Sanockogo I.V. – M.: Centr mezhdunarodnyh proektov GKNT, 1986. – 417 p.
46. Sovremennye metody ocenki vlijanija vrednyh faktorov okruzhajushhej sredy na zdorov'e naselenija [Modern methods of assessing the impact of environmental hazards on human health]. // N.V. Lebeleva, V.D. Furman, V.A. Kislicin, G.M. Zemljanaja. – Elektr. resurs. URL: <http://ehc.hut.ru/txt/rus/aricloud/art21.htm> (30.12.13).
47. Filov V.A. Vrednye veshhestva v okruzhajushhej srede [Harmful substances in the environment]. T. 8. 1992. – 328 p.; T. 10 1994. – 468 p.
48. Grushko Ja.M. Vrednye neorganicheskie soedinenija v promyshlennyh vybrosah v atmosferu. Spravochnik [Harmful inorganic compounds in industrial emissions into the atmosphere. Directory]. L.: Himija, 1987. – 191 p.
49. Bioindikacija zagrijaznenija nazemnyh jekosistem [Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems] // Je. Vajnert, R. Val'ter, T. Vetcel' i dr. – M.: Mir, 1988. – 350 p.
50. Sbornik sanitarno-gigienicheskih normativov i metodov kontrolja vrednyh veshhestv v ob'ektah okruzhajushhej sredy [Collection of sanitary standards and controls of hazardous substances in the environment]. – M.: Mezhdunarodnyj fond konversii, 1991. – 370 p.
51. Occupational exposure limits for airborne toxic substances a tabular compilation of values from selected countries. – Geneva: International Labour Office, 1993. – 455 p.
52. Nikolaevskij V.S. Biologicheskie osnovy gazoustojchivosti rastenij [Biological basis of gas resistance of plants]. – Novosibirsk: Nauka, 1979. – 278 p.
53. Spravochnik po toksikologii i higienicheskim normativam (PDK) potencial'no opasnyh himicheskih veshhestv [Handbook of Toxicology and hygienic standards (MAC) of potentially hazardous chemicals]. // Red. Kushneva V.S., Gorshkova R.B. – M.: Izdat, 1999. – 272 p.
54. GN 2.2.5.1313-03. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony [The maximum permissible concentration (MPC) of harmful substances in the air of the working area]. Utv. Minzdravom Rossii 27.04.03. – 200 p.
55. GN 2.2.5.2308-07. Orientirovochnye bezopasnye urovni vozdeystvija (OBUV) vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony [Exposure Limits (OEL) of harmful substances in the air of the working area]. Utv. Minzdravom Rossii 19.12.07, no. 89. M.: Federal'nyj centr gigieny i jepidemiologii Rospotrebnadzora, 2008 – 59 p.
56. GN 2.1.6.1338-03. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naseleennyh mest [Maximum permissible concentration ((MPC) of pollutants in the ambient air of populated areas]. Utv. Minzdravom Rossii 21.05.03. M.: Rossijskij registr potencial'no opasnyh himicheskih i biologicheskih veshhestv Minzdrava RF, 2003. – 86 p; GN 2.1.6.2326-08 (dopolnenija i izmenenija k GN 2.1.6.1338-03). Utv. Minzdravom Rossii 04.02.08, no. 6. – 3 p.
57. GN 2.1.6.1339-03. Orientirovochnye bezopasnye urovni vozdeystvija (OBUV) zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naseleennyh mest [The occupational exposure limits (OEL) of pollutants in the ambient air of populated areas]. Utv. Minzdravom Rossii 21.05.03. M.: Rossijskij registr potencial'no opasnyh himicheskih i biologicheskih veshhestv Ministerstva zdavoohranenija Rossijskoj Federacii, 2003. – 174 p.
58. Normativy predel'no dopustimyh koncentracij zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe i orientirovochno bezopasnyh urovnej vozdeystvija zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naseleennyh punktov i mest massovogo otdyha naselenija [The maximum permissible concentrations of pollutants in ambient air and occupational exposure of pollutants in the ambient air of settlements and places of public recreation]. Utv. Minzdravom respubliky Belarus' 30.06.09, no. 75. – 138 p.
59. European Community-Environment-Air-Стандарты качества воздуха. – Elektr. resurs. URL: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> (23.06.14).
60. Vremennye metodicheskie ukazanija po obosnovaniju predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naseleennyh mest [Interim guidance on substantiation of maximum permissible concentration (MPC) of pollutants in the ambient air of populated areas]. – M.: Minzdrav SSSR; Glavnoe sanitarno-jepidemiologicheskoe upravlenie. Utv. Minzdravom SSSR 15.06.88, no. 4681-88. 1989. – 110 p.
61. Metodicheskie ukazanija k postanovke issledovanij dlja obosnovanija sanitarnyh standartov vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony [Guidelines for the formulation of research to study the sanitary standards of harmful substances in the air of the working area]: MU 2163-80. M.: Minzdrav SSSR, 1980. – 21 p.
62. Gigienicheskie kriterii dlja obosnovanija neobhodimosti razrabotki PDK i OBUV (ODU) vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony, atmosfernom vozduhe naseleennyh mest, vode vodnyh ob'ektov [Hygienic criteria for rating the necessity for setting up MACS and TSELS of harmful substances in the occupation air, the ambient air of residential areas and the water of water bodies. Hygienic norms]: GN 1.1.701-98. M.: Gossanjepidnadzor Rossii, 1998. – 6 p.

63. Nikolaevskij V.S., Nikolaevskaja T.V. Metodika opredelenija predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh gazov dlja rastitel'nosti [Method for determining maximum permissible concentrations of harmful gases for the vegetation]. – M.: MLI Goskomplex SSSR, 1988. – 15 p.
64. Kiselev A.V., Fridman K.B. Ocenka riska zdorov'ju. Podhody k ispol'zovaniju v mediko-jekologicheskikh issledovanijah i praktika upravlenija kachestvom okruzhajushhej sredy [Assessment of health risk. The approaches to be used in medical and environmental research and practice of environmental management]. – S.-Pb.: Dejta, 1997. – 100 p.
65. Sanockij I.V., Ulanova I.P. Kriterii vrednosti v gigiene i toksikologii pri ocenke opasnosti himicheskikh soedinenij [The criteria for hazard in hygiene and toxicology at the risk assessment of chemical compounds]. M.: Medicina, 1975. – 328 p.
66. Osnovy obshhej promyshlennoj toksikologii: Rukovodstvo [Foundations of general industrial toxicology Guide] / Pod red. N.A. Tolokonceva, V.A. Filova. – L.: Medicina, 1976. – T. 1 – 3.
67. Metody opredelenija toksichnosti i opasnosti himicheskikh veshhestv (toksikometrija) [Methods for determination of toxicity and hazards of chemicals (Toximeter)]. / Pod red. I.V. Sanockogo. M.: Medicina, 1970. – 317 p. – Elektr. resurs. URL: <http://lib2.rus.ec.books.sci/sanotskij.rar> (10.04.14).
68. Obshhaja toksikologija [General toxicology] // Red B.A. Kurljanskij, V.A. Filov. – M.: Medicina, 2002 – 608 p.
69. Bezel' V.S., Bol'shakov V.N., Vorobejchik E.L. Populjacionnaja jekotoksikologija [Population Ecotoxicology]. – M.: Nauka, 1994. – 80 p.
70. Golikov S.N., Sanockij I.V., Tiunov L.A. Obshhie mehanizmy toksicheskogo dejstvija [General mechanisms of toxic action]. – L.: Medicina, 1986. – 279 p.
71. Safonov V.S., Odisharija G.Je., Shvyrjaev A.A. Teorija i praktika analiza riska v gazovoj promyshlennosti [The theory and practice of risk analysis in the gas industry]. – M.: Olita, 1996. – 207 p.
72. MosMR 2.1.9.004-03. Kriterii ocenki riska dlja zdorov'ja naselenija prioritetnyh himicheskikh veshhestv, zagrjaznjajushhih okruzhajushhuju sredu [Criteria for assessing the risk to public health priority chemicals that pollute the environment]. – M.: Sanjepidmedia, 2003. – 56 p.
73. Vrednye himicheskie veshhestva v promyshlennosti. Spravochnik dlja himikov, inzhenerov i vrachej [Hazardous chemicals industry. Handbook for chemists, engineers and doctors]. // N.V. Lazarev. – T. 1 – 9 L.: Himija, 1954 – 1977, 2015.
74. Golubev A.A., Ljublina E.I., Tolokoncev N.A., Filov V.A. Kolichestvennaja toksikologija [Quantitative toxicology]. L.: Medicina, 1973. – 288 p.
75. Obshhie voprosy promyshlennoj toksikologii [General questions Industrial Toxicology]. // Red. A.V. Roshhin, I.V. Sanockij. M.: Medicina, 1967. – 325 p.
76. Sanockij I.V. Voprosy gigenicheskogo normirovanija pri izuchenii otdalennyh posledstvij vozdejstvija promyshlennyh jadov [Questions hygienic standardization in the study of long-term effects of industrial poisons]. – M.: Medicina, 1972. – 191 p.
77. Kosorotov D.P. Kratkij uchebnik toksikologii [A brief tutorial toxicology]. – S.-Pb.: Tipogr. Ja. Treja, 1907. – 264 p.
78. Vlijanie zagrjaznenij vozduha na rastitel'nost'. Prichiny, vozdejstvie, otvetnye mery [The effect of air pollution on vegetation. Causes, effects, responses] // S. Bortitc, H.G. Desler, H. Jenderljajn i dr. – L.: Lesnaja promyshlennost', 1981. – 181 p.
79. Lazarev N.V. Osnovy promyshlennoj toksikologii [Fundamentals of Industrial Toxicology]. – L.: Medgiz, 1938. – 388 p.
80. Toksikologicheskaja himija [Toxicological Chemistry]. // S.A. Erjomin, S.K. Erjomin, G.I. Kaletin, N.I. Kaletina, A.E. Kovalenko, E. Simonov, A. Skal'nyj, R.U. Habriev; Pod red. R.U. Habrieva, N.I. Kaletinoj. – M.: GJeOTAR-Media, 2010. – 752 p.
81. Oksengendler G.I. Jady i organizm. Problemy himicheskoi opasnosti [Poisons and body. Problems of Chemical Hazards]. – S.-Pb.: Nauka, 1991. – 320 p.
82. Sanockij I.V., Smirnova O.N. Kratkij obzor dokumentov s perechnem dannyh o toksichnosti i opasnosti veshhestv, razrabotannyh v raznyh stranah [Overview of documents to the list of data on toxic and hazardous substances developed in different countries]. // Gig. tr. i profzabol. – 1989, 3. – pp. 33 – 36.
83. Dason R., Jelliot D., Jelliot U., Dzhons K. Spravochnik biohimika [Reference biochemist]. Per. s angl. – M.: Mir, 1991. – 544 p.
84. National Emission Standards. US EPA, Washington, April 1978.
85. MR 2.2.12-142. Metodichni rekomendacii «Ocinka riziku dlja zdorov'ja naselennja vid zabrudnennja atmosfernogo povit'ra» [Guidelines “Assessment of the risk to health from air pollution”]. 2007. Zatv. Nakazom MOZ Ukraini 13.04.07 no. 184. K.: M-vo ohoroni zdorov'ja Ukraini, 2007. – 40 p.
86. Guidelines for Ecological Risk Assessment // U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, DC, 1998. – 114 p. – Elektr. resurs. URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=12460> (21.06.14).
87. GOST 12.1.005-88. Sistema standartov bezopasnosti truda. Obshhie sanitarnogigienicheskie trebovanija k vozduhu rabochej

- zony [Occupational safety standards system. General hygiene requirements to the working zone]. Utv. Minzdravom SSSR 29.09.88, no. 3388, izdanie 5. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002. – 71 p.
88. GOST 12.1.007-76. Sistema standartov bezopasnosti truda. Vrednye veshhestva. Klassifikacija i obshhie trebovanija bezopasnosti [Occupational safety standards system. Harmful substances. Classification and general safety requirements]. Utv. 10.03.76, no. 579. M.: Standartinform. – 5 p.
89. Anderson F.K., Treshou M. Zagrijaznenija vozduha i zhizn' rastenij [Air pollution and plant life]. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 129 p.
90. Il'kun G.M. Gazoustojchivost' rastenij [Gas resistant plants]. – K.: Nauk. dumka, 1971. – 146 p.
91. Frolov A.K. Okruzhajushhaja sreda krupnogo goroda i zhizn' rastenij v nem [The environment of a large city and plant life in it]. S.-Pb.: Nauka, 1998. – 328 p.
92. Kapranov S.V., Kapranova G.V., Penskaja L.A. Rastenija v noosfere i zdorov'e naselenija [Plants in the noosphere and public health]. – Lugansk: Jantar', 2008. – 256 p.
93. Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide or oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, available at: <http://europa.eu.int> (15.01.2014).
94. Air quality guidelines for Europe. Second edition. Regional publications. – Copenhagen: WHO Regional office for Europe, 2000. – 288 p.
95. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniju real'noj nagruzki na cheloveka himicheskikh veshhestv, postupajushhih s atmosferynym vozduhom, vodoj i pishhevymi produktami [Guidelines for the definition of the actual load on the person of chemicals coming from the atmospheric air, water and food]. Utv. Minzdravom SSSR 30.03.82, no. 2983-84 M. 1986. – 41 p.
96. Marshal V. Osnovnye opasnosti himicheskikh proizvodstv [The main danger of chemical production]. M.: Mir. – 1989. – 672 p.
97. Metodika ocenki posledstvij avarijnyh vybrosov opasnyh veshhestv ("Toksi") [Methods of assessing the consequences of accidental releases of hazardous substances ("Toxic").]. M.: Rostehnadzor, 2005. – 67 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.safety.ru> (20.12.13).
98. Rukovodstvo po bezopasnosti "Metodicheskie osnovy po provedeniju analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah" [Safety Manual "Methodical bases to analyze hazards and assess the risk of accidents at hazardous production facilities"]. Utv. Rostehnadzorom 13.05.15, no. 188. – 57 p.
99. Akimov V.A., Novikov V.D., Radaev N.N. Prirodnye i tehnogennye chrezvychajnye situacii: opasnosti, ugrozy, riski [Natural and man-made emergencies: danger, threats, risks]. – M.: ZAO FID "Delovoj jekspress", 2001. – 344 p.
100. Metodicheskie ukazaniya po ustanovleniju orientirovochnyh bezopasnyh urovnej vozdeystvija (OBUV) zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosferynom vozduhe naselennyh mest [Guidelines for the establishment of occupational exposure limits (OEL) of pollutants in the ambient air of populated areas]. Utv. Minzdravom SSSR 25.11.82, no. 2630-82. M.: Minzdravom SSSR, 1982. – 21 p.
101. Obruntuvannja gigienichnih normativiv shkidlivih himichnih rechovin u riznih seredovishhah na osnovi sistemnogo pidhodu [The substantiation of hygienic standards of harmful chemicals in different environments based on a systematic approach]: Metodichni vkazivki: MV 1.1.5-088-02. Zatv. Minzdravom Ukraïni 12.04.02 r., no. 14. – K., 2002. – 55 p.
102. Toxicology and Risk Assessment. Principles, Methods, and Applications. Anna M. Fan, Louis W. Chang. 1996.
103. Risk vs. Risk. Tradeoffs in Protecting Health and the Environment. Edited by John D. Graham and Jonathan Baert Wiener. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1995. – 337 pp.
104. Metodicheskie rekomendacii "Organizacija issledovanij, svjazannyh s ocenkoj jekologicheskogo riska faktorov gorodskoj sredy dlja zdorov'ja naselenija" [Guidelines "Research organization associated with the assessment of environmental risk factors of the urban environment to human health"]. Minprirody, 1993.
105. DSTU 2156-93. Bezpechnist' promislivih pidpriemstv. Terminy ta viznachennja [Safety industry. The terms and definitions]. K.: Derzhstandart Ukraïni, 1994. – 31 p.
106. Averin G.V. Sistemodinamika [System dynamics], Donetsk: Donbass. 2014. – 405 p., – Elektr. Resurs. URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/news/item/sistemodinamika> (20.05.14).
107. Zviagintseva A.V. Multiparameter ranking of areas based on the analysis of data about the condition of natural and anthropogenic systems // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve. – 2014. – no. 1(6) – 2(7). – Elektr. resurs. URL: <http://sait.csm.donntu.org>.
108. Zvjaginceva A.V., Averin G.V. Strategicheskaja ocenka statusa Ukrainy v sovremennom mire po dannym mezhdunarodnyh organizacij. Chast' 2: Primery analiza i rezul'taty [Strategic Assessment of the status of Ukraine in the modern world

according to the data of international organizations. Part 2: Examples of analysis and results]. // *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*. – 2013. – no 1(4) – 2(5). – pp. 46 – 55. – Elektr. resurs. URL: <http://sait.csm.donntu.org> (17.05.14).
109. Averin G.V., Zvjaginцева A.V. Zakonomernosti formirovaniya opasnykh

processov v slozhnykh sistemah [Conformities to the law of dangerous processes forming in the difficult systems] // *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu*. Serija: Informatika, kibernetika ta obchisljuval'na tehnika, vipusk 9 (132). – Donec'k: DonNTU. 2008 – pp. 221 – 232.

Звягинцева Г.В. «Системы оцінки небезпеки при забрудненні атмосферного повітря: спроба узагальнення підходів». Дана характеристика існуючих підходів до оцінки небезпеки при забрудненні атмосферного повітря, які сформувався в екологічному та соціально-гігієнічному моніторингу. Перший підхід дає порівняльну оцінку небезпеки по відношенню до заданих нормованих рівнів забруднення повітря хімічними речовинами. Другий підхід пов'язано з оцінкою небезпеки за даними прояви токсичного процесу, виходячи з безпосередньо завданої шкоди біологічним об'єктам. Аналізуються основні положення, принципи і методи оцінки небезпеки для обох існуючих концепцій. Оцінка небезпеки в екологічному моніторингу базується на визначенні обмеженого переліку добре вивчених пріоритетних речовин, контролі їхнього вмісту в повітрі, використанні санітарно-гігієнічних норм і на розрахунок індивідуальних і комплексних показників забруднення атмосферного повітря. Оцінка небезпеки при соціально-гігієнічному моніторингу заснована на аналізі ризику негативних впливів на людину, тварин, рослин і біосферу в цілому і пов'язана в основному з вивченням характеристик і параметрів токсичних процесів і їхніх проявів. Обидва підходи в кінцевій своїй меті виходять на імовірнісну оцінку небезпеки на основі визначення ризиків негативних подій забруднення повітря або негативних ефектів при реалізації цих подій. Аналізуються також методи оцінки ризику при забрудненні атмосферного повітря виходячи з визначення ймовірності складних небезпечних подій, пов'язаних як з перевищенням нормативних рівнів забруднення повітря, так і з негативною дією шкідливих речовин на реципієнтів. Робиться спроба узагальнення уявлень про небезпеку в екологічній безпеці, а також характеризуються деякі перспективні напрями досліджень у цій області.

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря; принципи, підходи і методи оцінки небезпеки; екологічний та соціально-гігієнічний моніторинг; аналіз ризику негативних впливів.

Zvjagintseva A.V. “Systems of risk assessment when air pollution: an attempt to summarize the approaches”. The characteristic of existing approaches to risk assessment in the air pollution that have been adopted in the ecological and socio-hygienic monitoring. The first approach provides a comparative risk assessment in relation to given normalized levels of air pollution by chemicals. The second approach involves the assessment of danger according to the manifestations of the toxicological process, based on the direct application harm biological objects. Analyzes the basic situation, the principles, approaches and methods of risk assessment for both existing concepts. The risk assessment in environmental monitoring is based on the definition of a limited list of priority substances, control of their content in the air, use of sanitary standards and determining the individual and complex indicators of air pollution. Risk assessment in the public health monitoring based on risk analysis of negative impacts on humans, animals, plants and the biosphere in general, and related primarily to the study of characteristics and parameters of the toxic processes. Both approaches its goal in the final out on a probabilistic risk assessment based on the identification of risks of adverse events and adverse air pollution effects in the implementation of these developments. Analyzed as risk assessment when air pollution is based on the determination of the likelihood of complex hazardous events associated with both exceeding regulatory levels of air pollution, and the negative effect of harmful substances on the recipient. An attempt to analyze the development of concepts related to the assessment of hazards, and characterized by some promising areas of research in this area.

Keywords: air pollution; principles, approaches and methods of risk assessment; ecological and socio-hygienic monitoring; analysis of the risk of adverse effects.

Статья поступила в редакцию 25.06.2014

Рекомендована к публикации д-р техн. наук, проф. Г.В. Авериным