

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»  
ДЗЕРЖИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Химические и пищевые технологии»

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для самостоятельной работы  
по дисциплине «Экология»  
для обучающихся всех направлений  
подготовки бакалавров и всех форм обучения

Нижний Новгород 2021

Составители: **И.В. Павлова, И.Н. Постникова**

УДК 504.61

Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Экология» для обучающихся всех направлений подготовки бакалавров и всех форм обучения / НГТУ им. Р.Е. Алексеева; сост. И.В. Павлова, И.Н. Постникова. - Н. Новгород, 2021. – 32 с.

Методические указания разработаны в соответствии с рабочими программами по дисциплине «Экология» и являются руководством для подготовки студентов младших курсов всех направлений подготовки и всех форм обучения. Их основная цель – ознакомить студентов с современными проблемами экологии и природопользования, изучить подходы к оценке масштаба региональных экологических проблем с целью обеспечения безопасности жизни человека и сохранения окружающей среды.

Редактор Е.А. Репникова

Подписано в печать 10.06.21. Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Бумага газетная.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,0. Тираж 150 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.  
Типография НГТУ. 603950, Н.Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е. Алексеева, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Далеко не все серьезные изменения, произошедшие в природной среде за время существования планеты, - дело рук человека. Так за последние десятки тысячелетий одним из главных факторов перестроек ландшафтов на планете был климат: существование гигантских ледников на пространствах Северной Евразии и Северной Америки влекло за собой серьезные климатические изменения практически по всей Земле.

Но никто не станет спорить и с тем, что в последние десятки тысячелетий с антропогенным воздействием на природу планете приходится считаться.

Экологические проблемы стали возникать с первых дней существования человечества. Но только в последние два столетия, особенно начиная с 50-х годов 20 столетия, экологические проблемы стали угрожать существованию биосферы. Эта угроза исходит, прежде всего, от загрязнения человеком окружающей среды, воздушного бассейна и Мирового океана, истощения природных ресурсов.

По среде возникновения можно выделить следующие экологические проблемы:

- загрязнение атмосферы (изменение климата Земли, парниковый эффект, глобальное потепление, кислотные осадки, изменение концентрации озона в тропосфере и стратосфере и др. проявления);

- загрязнение гидросферы (истощение и загрязнение поверхностных вод суши, подземных вод, загрязнение океана и др);

- загрязнение литосферы и почв (потери плодородных земель и обеднение почвенных ресурсов, разрушение земель, эрозия, опустынивание);

- обеднение биологических ресурсов (сокращение площади лесов, видового разнообразия, исчезновение видов животных и растений, расширение роли паразитов, вредителей, сорняков и др);

- влияние состояния окружающей среды на здоровье и жизнь человека (прямое или косвенное ухудшение физического и морального состояния человека, демографические проблемы, психологическая усталость, рост заболеваемости, новые болезни и т.д.).

Антропогенные воздействия на биосферу приводят к изменениям в окружающей среде, которые можно рассматривать как преднамеренные и непреднамеренные преобразования.

Преднамеренные преобразования окружающей среды: освоение земель под посевы, сооружение водохранилищ, каналов и оросительных систем, строительство городов, промышленных предприятий и путей сообщения, рытье котлованов, шахт и бурение скважин для добычи полезных ископаемых, осушение болот и т. д.

К непреднамеренным изменениям относят: загрязнение окружающей среды, изменения газового состава атмосферы, изменения климата, кислотные дожди, ускорение коррозии металлов, образование фотохимических туманов (смогов), нарушение озонового слоя, развитие эрозионных процессов, наступление пустыни, экологические катастрофы в результате крупных аварий, обеднение видового состава биоценозов, развитие экологической патологии у населения и т.п.

На первый план выступают непреднамеренные экологические изменения не только по той причине, что многие из них очень значительны и важны, а также и потому, что они хуже контролируются и чреваты непредвиденными эффектами.

## **1. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Под загрязнением окружающей среды* понимают любое внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением данной экосистемы.

Различают природные загрязнения, вызванные природными, нередко катастрофическими, причинами, например извержение вулкана, и антропогенные, возникающие в результате деятельности человека.

Антропогенные загрязнители делятся на материальные (пыль, газы, зола, шлаки и др.) и физические (тепловая энергия, электрические и электромагнитные поля, шум, вибрация и т. д.).

Материальные загрязнители подразделяются на механические, химические и биологические.

К механическим загрязнителям относятся пыль и аэрозоли атмосферного воздуха, твердые частицы в воде и почве.

Химическими (ингредиентами) загрязнителями являются различные газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы, попадающие в атмосферу, гидросферу и вступающие во взаимодействие с окружающей средой — кислоты, щелочи, газообразные вредные вещества (диоксид серы, оксиды азота, фенолы и т.д.), эмульсии и другие.

Биологические загрязнители — все виды организмов, появляющиеся при участии человека и наносящие ему вред: грибы, бактерии, сине-зеленые водоросли, сорняки.

Последствия загрязнения окружающей среды — это экологические проблемы.

Проанализируем некоторые аспекты деятельности человека, которые оказывают особо вредное воздействие на среду, и являются основными источниками загрязнения.

## ***ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СФЕРА***

До последнего времени считалось бесспорным, что серьезные нарушения окружающей среды человек совершает в сфере именно производственной деятельности. Заводские и фабричные трубы являлись основным источником загрязнения воздуха, стоки промышленных предприятий – рек и прибрежных морских вод. Хотя в начале XXI в. транспорт и непродовольственная деятельность потеснили промышленность в шкале загрязнителей, все же промышленное и сельскохозяйственное производство остаются одними из главных источников ухудшения окружающей среды.

Рассмотрим несколько подробнее основные источники загрязнения окружающей среды в производственной сфере.

***Производство энергии.*** Основой развития любого региона или отрасли экономики является энергетика. Основным источником электроэнергии в России и многих других странах мира является в настоящее время и будет, вероятно, оставаться в обозримом будущем тепловая энергия, получаемая от сгорания угля, нефти, природного газа, торфа, горючих сланцев.

Основными источниками загрязнения окружающей среды в энергетике являются тепловые электростанции (ТЭС). Наиболее характерно здесь химическое и тепловое загрязнение. Обычно сгорание топлива бывает неполным, и при сжигании твердого топлива в котлах на ТЭС или ТЭЦ образуется большое количество золы, диоксида серы, оксидов азота, канцерогенов. Газовые выбросы ТЭС загрязняют окружающую среду и оказывают влияние на все компоненты природы. Например, оксиды серы и азота, загрязняя атмосферу, вызывают кислотные дожди. Кислотные дожди, в свою очередь, закисляют почву, снижая тем самым эффективность применения удобрений, изменяют кислотность природных вод, что сказывается на видовом многообразии водного сообщества. Существенно влияют оксиды серы и азота и на наземную растительность.

В целом же на энергетику по объему газовых выбросов в атмосферу приходится около 27 % общего количества выбросов всей промышленности России.

К другому источнику загрязнения окружающей среды в энергетике относится сброс загрязненных сточных вод в водоемы. В России из 1,5 млрд. м<sup>3</sup> сточных вод, требующих очистки, нормативно-очищенными сбрасывалось около 12 %.

Источником загрязнения подземных вод являются многочисленные золошлакоотвалы. Сильно загрязнены подземные воды в районе Курска (ТЭЦ-1), Нижнего Новгорода (Сормовская ТЭЦ).

К городам с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы, где определяющим является влияние предприятий энергетики, относятся Иркутск, Ростов-на-Дону, Саратов, Улан-Удэ, Хабаровск, Чита, Южно-Сахалинск.

**Металлургическая промышленность.** Черная и цветная металлургия относится к самым загрязняющим природную среду отраслям. На долю металлургии приходится около 40 % общероссийских валовых выбросов вредных веществ, из них по газообразным веществам – около 34 %, по твердым – около 26 %.

В среднем на 1 млн. тонн годовой производительности заводов черной металлургии выделение пыли составляет 350 т/сут, диоксида серы – 200 т/сут, оксида углерода – 400 т/сут, оксидов азота – 42 т/сут.

Черная металлургия является одним из крупных потребителей воды. Водопотребление ее составляет 12 – 15 % общего потребления воды промышленными предприятиями страны. Около 70 % сточных вод, образующихся в технологическом процессе, относятся к «условно чистым» стокам (они имеют только повышенную температуру). Остальные сточные воды (30 %) загрязнены различными примесями и вредными соединениями.

Концентрация вредных веществ в атмосфере и водной среде крупных металлургических центров значительно превышает нормы. Неблагоприятная экологическая обстановка наблюдается в таких металлургических городах России, как Липецк, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Челябинск, Череповец и др.

Выбросы вредных веществ (сероводород, сероуглерод, фтористые соединения, бенз(а)пирен, аммиак, фенол, углеводород) из-за большой токсичности стали причиной превышения допустимых санитарно-гигиенических норм (ПДН). В среднем за год концентрация сероуглерода в названных городах составляет от 5 до 13 ПДК.

Одним из лидеров загрязнения окружающей среды продолжает оставаться цветная металлургия. Выбросы предприятия цветной металлургии составляют 10 % валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу всей промышленности России.

Загрязнение атмосферы предприятиями цветной металлургии характеризуется в первую очередь выбросами диоксида серы (75 % от суммарного выброса в атмосферу), оксида углерода (10 %) и пыли (10 %).

Сточные воды предприятий цветной металлургии загрязнены минеральными веществами, фторореагентами, нефтепродуктами, солями тяжелых металлов (меди, никеля, свинца, цинка и др.), мышьяком, сульфатами, хлоридами, сурьмой, фтором и др.

Мощными источниками загрязнения почвенных покровов, как по интенсивности, так и по разнообразию загрязняющих веществ, являются крупные предприятия цветной металлургии. В городах, где размещены предприятия цветной металлургии, обнаруживаются в почвенном покрове тяжелые металлы нередко в количестве, превышающем ПДК в 2 – 5 раз и более. Первое место по суммарному индексу загрязнения почвенного покрова занимает Рудная Пристань (Приморский край), где расположен свинцовый завод. В радиусе 5 км вокруг Рудной Приistani наблюдается загрязнение почв: свинцом – 300 ПДК, марганцем – 2 ПДК и др.

К опасной категории загрязнения почв относятся города: Белове (Кемеровская область), в котором содержание свинца в почвенном покрове достигает 50 ПДК; Ревда (Свердловская область) – содержание ртути – до 7 ПДК, свинца – до 5 ПДК.

***Химическая, нефтехимическая и целлюлозно-бумажная промышленность.*** Эти отрасли относятся к одним из основных загрязнителей воздушного бассейна (углекислый газ, оксид углерода (II), диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, соединения хлора, мышьяка, ртути и т. д.), природных вод и почвы (нефть и продукты нефтехимии, фенолы и другие ядовитые вещества, сульфитные сточные воды целлюлозно-бумажной промышленности и др.).

Предприятия химической и нефтехимической промышленности являются источниками загрязнения водных объектов. Например, река Белая выше Стерлитамака (Башкортостан) относится к III классу («грязной»). Аналогичное состояние отмечается и с водами реки Оки после сбросов заводами Дзержинска, в которых резко возрастает содержание метанола, цианидов, формальдегида. После сбросов сточных вод Чапаевского завода химических удобрений река Чапаевка становится практически непригодной для использования из-за высокого загрязнения ее вод пестицидами.

Предприятия химической и нефтехимической промышленности являются источниками загрязнения подземных вод металлами, метанолом, фенолом в концентрациях, достигающих нередко сотен тысяч ПДК на площадях в десятки квадратных километров, что приводит к невозможности использования водоносных горизонтов для питьевого водоснабжения.

Проблема охраны окружающей среды, связанная с химической, нефтехимической и целлюлозно-бумажной промышленностью, особенно актуальна в связи с увеличением в химическом производстве доли синтетических продуктов, которые в природной среде не разлагаются или разлагаются очень медленно.

## ***ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНЫЙ КОМПЛЕКС И СВЯЗЬ***

Негативная роль транспортно-дорожного комплекса в ухудшении качества окружающей среды постоянно возрастает. Из 35 млн. тонн вредных выбросов 89 % приходится на выбросы автомобильного транспорта и дорожно-строительного комплекса, 8 % – на железнодорожный транспорт, около 2 % – на авиатранспорт и около 1 % – на водный транспорт.

Выбросы от автомобильного транспорта в нашей стране составляют около 22 млн. тонн в год. Более 200 наименований вредных веществ и соединений, в том числе и канцерогенных, содержат отработанные газы двигателей внутреннего сгорания. Нефтепродукты, продукты износа шин и тормозных накладок, сыпучие и пылящие грузы, хлориды, используемые в качестве антиобледенителей дорожных покрытий, загрязняют придорожные полосы и водные объекты.

Загрязнение атмосферы предприятиями дорожно-строительного комплекса (например, асфальтобетонными заводами) имеет существенное значение, так как выбросы этих предприятий содержат канцерогенные вещества. В настоящее время эксплуатируемые асфальто-смесительные установки разной мощности выбрасывают в атмосферу от 70 до 300 т взвешенных веществ в год.

От работы воздушного транспорта выбросы в атмосферный воздух составляют около 280 тыс. т. Из-за высокого шумового воздействия воздушного транспорта серьезные проблемы возникают для прилегающих к аэропортам территорий жилой застройки. Наблюдается заметный рост доли населения, страдающего от авиационного шума.

На железнодорожном транспорте объем выбросов в атмосферный воздух от стационарных источников составляет около 465 тыс. т, из которых только 30 % уловлено и обезврежено, а 70 % (около 330 тыс. т) выброшено в атмосферу, в том числе твердых веществ.

Выбросы от передвижных источников составляют более 2 млн. т.

Негативным образом сказывается на здоровье людей возрастание общего электромагнитного фона, особенно в крупных промышленных центрах. Основными источниками электромагнитных полей являются радиотехнические объекты, телевизионные и радиолокационные станции, термические цеха, высоковольтные линии электропередач (ЛЭП).

## ***СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО***

Производственная деятельность в сельском и лесном хозяйстве наиболее тесно связана с природной средой, так как она протекает непосредственно в природе. Однако с внедрением индустриальных методов и в



этих отраслях произошли существенные изменения, которые неблагоприятно сказываются на среде.

Механизация и химизация сельского хозяйства сопровождается загрязнением выхлопными газами атмосферного воздуха, загрязнением маслами и бензином почвенного слоя и природных водоемов. Минеральные удобрения, особенно азотные и фосфорные, а также химические средства защиты растений (пестициды) также загрязняют почву и воду.

Нерациональное землепользование вызывает эрозию почвы, а нерациональное ведение лесного хозяйства ведет к обезлесению, вызывающее в свою очередь изменения в растительном и животном мире, нередко приводящие к исчезновению некоторых видов растений и животных.

## ***ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС***

Военно-промышленный комплекс (ВПК) относится к одному из основных природопользователей, влияние которого на окружающую среду обладает большой разрушительной силой. Размеры территории и степень воздействия на нее многократно увеличиваются во время маневров и учений. Дислокация столь огромной военной мощи вызывает на обширной территории значительную деградацию природных комплексов.

Значительное загрязнение воздуха и земли происходит в процессе производства, испытания и хранения обычного, химического, биологического и ядерного оружия.

Промышленные комплексы по производству вооружения потребляют колоссальные количества дефицитного сырья и энергии. Например, на военные нужды расходуется 9 % всей мировой продукции металлургии. По данным США, для строительства и развертывания только одной мобильной межбаллистической ракеты требуется 4,5 тыс. т стали, 2,2 тыс. т цемента, 50 т алюминия, 12,5 т хрома, 750 кг титана, 120 кг бериллия. Их функционирование связано с большим экологическим риском.

Отрицательное воздействие на окружающую среду оказывают и испытания ядерного оружия, которое несет губительные последствия для растительного и животного мира, но самое опасное, когда в зоне испытаний оказывается человек.

Испытания влекут за собой опасность радиоактивного облучения, в результате которого возникают тяжелые заболевания (лейкемия, рак щитовидной железы).

В последние годы стало ясно, что и разоружение, уничтожение оружия, в первую очередь ядерного, химического и биологического, связаны с огромным экологическим риском.

## ***ТЕХНОГЕННЫЕ АВАРИИ И ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ***

Серьезными факторами дестабилизации среды жизни человека становятся техногенные аварии и природные катастрофы. Многие ученые, специалисты указывают на усиление связи между ними.

Стихийные явления, такие как землетрясение, извержение вулкана, селевые потоки и оползни, наводнения и т.д., часто приводят к естественно-техногенным опасностям. Характерным примером такой опасности является событие 2011 г. в Японии, когда землетрясение с магнитудой 8,9 балла вызвало цунами с высотой волны более 10 м (стихийная опасность) и последующее разрушение инфраструктуры, пожары и взрывы промышленных объектов, в том числе разрушение четырех блоков атомной станции «Фукусима-1», что привело к радиоактивному заражению местности и прибрежных участков моря.

При землетрясениях в окружающем пространстве наблюдается сейсмический удар, происходит деформация горных пород, возможны извержение вулканов, нагон воды (цунами), смещение горных пород, снежных масс, ледников и т.д.

При извержениях вулканов чаще всего наблюдаются следующие явления: деформация и сотрясения земной поверхности; выброс и выпадение продуктов извержения; движения лавы, грязевых, каменных потоков; гравитационное смещение горных пород. В атмосферу вырывается большое количество паров и газов, приводящих к химическому загрязнению атмосферы. Раскаленная лава приводит к тепловому загрязнению окружающей среды с потенциальной опасностью образования крупномасштабных пожаров. Нередко в кратерах в период покоя образуются озера, тогда в период извержения водогрязевые потоки представляют опасность даже большую, чем потоки лавы (из-за больших скоростей перемещения потоков по склонам).

Сели – это внезапно возникающий в руслах горных рек временный поток, характеризующийся резким подъемом уровня воды и высоким содержанием в нем продуктов разрушения горных пород. Возникновению грязевого потока в основном способствуют три условия: интенсивный ливень или очень дружное снеготаяние; значительная крутизна склонов речных долин и балок, т.е. большие уклоны водных потоков; наличие на склонах значительных масс легко смываемого рыхлого мелкообломочного грунта.

Оползень – скользящее под влиянием силы тяжести вниз по склону смещение горных пород. Оползни возникают на каком-нибудь участке склона или откоса вследствие нарушения равновесия пород, вызванного различными причинами:

- увеличением крутизны склона в результате подмыва водой; ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными водами;
- воздействием сейсмических толчков;
- хозяйственной деятельностью, проводимой без учета геологических условий местности.

Селевые потоки и оползни способны вызвать крупные завалы и обрушения автомобильных и железных дорог, разрушение зданий и сооружений, населенных пунктов, затопление территорий, поражение и гибель людей. Оползни обычно возникают неожиданно и приносят большие бедствия, накрывая населенные пункты или их части плотным высоким слоем обломочных пород, глиной и песком, что крайне затрудняет проведение спасательных работ.

Наводнение – затопление значительных территорий, возникающее в результате разлива рек во время половодья и паводков, ливневых дождей, ледяных заторов рек, обильного таяния снегов и других природных причин. При наводнении разрушаются здания и сооружения, происходит размыв участков дорог, повреждаются гидротехнические и дорожные сооружения.

Грозовые разряды также относятся к стихийным бедствиям. На земном шаре ежегодно регистрируются более шестнадцати миллионов гроз. Причем каждую секунду в атмосфере происходит около ста грозовых разрядов. Атмосферные электрические разряды могут происходить как между отдельными облаками, так и между грозовыми облаками и земной поверхностью. Протяженность грозовых каналов нередко достигает нескольких километров, а сила тока в них составляет несколько сотен тысяч ампер. Такие грозовые каналы представляют значительную опасность для промышленных, гражданских и военных объектов, поскольку могут стать причиной пожаров, механических повреждений оборудования.

За последние годы произошло 600 различных природных катастроф, в том числе 200 ураганов, 170 наводнений и 50 землетрясений. Стихия унесла 11 тыс. человеческих жизней, материальный ущерб от нее составил 60 млрд. долл. Количество природных катастроф в последние годы увеличилось на 30 %. Наибольшую опасность представляли смерчи, ураганы, наводнения.

Ежегодно потери от аварий и катастроф техногенного и природного характера измеряются тысячами человеческих жизней и невосполнимым ущербом природной среде.

Анализ техногенных аварий и природных катастроф приводит к заключению, что главные источники опасности для человека проистекают из созданной им же среды.

## 2. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ ОПАСНОСТИ

Чрезвычайные опасности, неожиданно возникая и обладая высокими уровнями воздействия на человека, как правило, его травмируют, а промышленные объекты, селитебные зоны и природу разрушают.

Основными техносферными источниками чрезвычайных опасностей являются:

- пожаро-, взрыво-, химически и радиационно опасные производственные объекты;
- транспорт и подъемно-транспортная техника;
- газовые, нефтяные, тепловые, электрические и другие коммуникации и сети;
- иные объекты экономики.

Стихийные явления (землетрясение, ураганы, сели, грозовые разряды и т.п.), как правило, инициируют возникновение и развитие техногенных аварий.

Основными опасными процессами являются:

- объекты ядерного топливного цикла и атомные реакторы;
- ракетно-космические комплексы;
- нефтегазовые комплексы;
- химические и биохимические комплексы;
- объекты энергетики;
- металлургические комплексы;
- транспортные комплексы;
- магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы;
- горнодобывающие комплексы;
- крупные объекты гражданского строительства;
- системы связи, управления и оповещения.

Для России в силу ее особенностей, связанных со структурными изменениями в экономике, к числу источников техногенной опасности также относятся:

- остановка ряда производств;
- высокий уровень износа основных производственных средств;
- накопление отходов производства и быта, представляющих угрозу распространения токсичных веществ в природной среде;
- снижение технологической и трудовой дисциплины работающих.

**Радиационные аварии.** Авария радиационная – потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными явлениями или иными причинами, которые могли привести или привели к облу-

чению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды.

К настоящему времени произошло немало радиационных аварий различной тяжести на предприятиях ядерной энерготехнологии, в медицине и в научных исследованиях, в промышленной радиографии.

Из всех объектов, использующих источники ионизирующих излучений, наибольшую опасность как возможные источники радиоактивных загрязнений окружающей среды и радиационного облучения населения представляют предприятия ядерного топливного цикла, к ним относятся:

- атомные станции;
- предприятия, осуществляющие добычу сырья (урановой руды) для последующего изготовления из него ядерного топлива, его переработку, транспортировку сырья и компонентов для изготовления ядерного топлива и их отходов;
- атомный военный и гражданский флоты;
- системы ядерного оружия, заводы по их производству, переработке и склады такого оружия; могильники отработанного ядерного топлива;
- предприятия по изготовлению тепловыделяющих элементов;
- хранилища использованного ядерного топлива.

Особое место в приведенном перечне занимают атомные станции. Это связано с тем, что именно в процессе работы станции образуется подавляющая часть искусственных радиоактивных изотопов, активность и концентрация которых в реакторе чрезвычайно высоки.

По данным МАГАТЭ, за последние 20 лет в 14 странах мира на АЭС имели место в среднем около 10 аварий различной тяжести в год. В табл. 1 представлены основные причины аварий на АЭС.

**Таблица 1. Основные причины аварий на АЭС**

| Причины аварий               | Доля аварий, % |
|------------------------------|----------------|
| Ошибки в проектах (дефекты)  | 30,7           |
| Износ оборудования, коррозия | 25,5           |
| Ошибки оператора             | 17,5           |
| Ошибки в эксплуатации        | 14,7           |
| Прочие причины               | 11,6           |

Особое место среди радиационных аварий занимает Чернобыльская трагедия 1986 г. Только в России общая площадь радиоактивного загрязнения по цезию-137 достигает более 50 тыс. км<sup>2</sup>. На заряженных территориях в настоящее время проживает более трех миллионов человек.

В 2011 году глобальная радиационная авария произошла на АЭС «Фукусима-1» (Япония), что негативно отразилось на здоровье больших

групп населения и состоянии природной среды, существенно снизило доверие людей всего мира к атомной энергетике. По предварительной оценке экспертов материальный ущерб от катастрофы на этой АЭС составил 35 млрд. долл. США.

**Химические аварии.** Это чрезвычайные события, сопровождающиеся проливом или выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ), способных привести к гибели или химическому заражению людей, животных и др.

Привести к массовым людским потерям в результате аварий, сопровождаемых выбросами (утечками), могут не все вещества, включая даже высокотоксичные. Химически опасное вещество – это химическое соединение природного или искусственного происхождения, прямое или опосредованное воздействие которого на людей может вызвать у них острые и хронические заболевания или вообще гибель.

В зависимости от поражающего действия на организм человека все АХОВ подразделяются на шесть групп.

*1. Вещества с преимущественным удушающим действием.* К ним относятся хлор, хлорпикрин, треххлористый фосфор, хлориды серы, фосген и др. Они, главным образом, воздействуют на дыхательные пути.

*2. Вещества преимущественно общеядовитого действия.* К ним относятся оксид углерода, синильная кислота, оксиды азота, сероводород, цианиды и др. Для этих веществ характерно бурное течение интоксикации.

*3. Вещества ухудшающего и общеядовитого действия.* К ним относятся сернистый ангидрид, сероводород, акрилонитрил, оксиды азота и др.

*4. Нейротропные яды.* К ним относятся сероуглерод и фосфорорганические соединения.

*5. Вещества ухудшающего и нейротропного действия.* Типичным и наиболее массовым представителем таких веществ является аммиак. При ингаляционном его воздействии в течение 60 мин с концентрацией  $1,5 \text{ г/м}^3$  возникает токсический отек легких, на фоне которого формируется тяжелое поражение нервной системы. Оказывает выраженное действие на центральную нервную систему, в результате чего появляется возбуждение, судороги.

*6. Метаболические яды.* К ним относятся оксид этилена, бромистый метил, диоксины, метилхлорид, дихлорэтан и др. Отравление таким АХОВ характеризуется отсутствием первичной реакции на яд и сопровождается длительным скрытым периодом. В патологический процесс постепенно вовлекаются многие органы, но ведущими являются нарушения центральной нервной и кроветворной систем, работы печени и почек.

Химически опасными называются такие объекты экономики, на которых хранят, перерабатывают и используют или транспортируют опасные химические вещества и при авариях, на которых может произойти гибель или химическое заражение людей, а также химическое заражение окружающей природной среды. Только химически опасных промышленных объектов в стране было более 3300. Наиболее химически опасными регионами России являются Башкортостан, Воронежская, Волгоградская, Саратовская, Тульская, Нижегородская, Архангельская, Ленинградская и Московская области, города Челябинск, Екатеринбург, Дзержинск, Иркутск и др. Только в Нижегородской области имеется 188 таких объектов.

Объекты с химически опасными веществами могут быть источниками следующих воздействий на население: залповых выбросов АХОВ в атмосферу; сброса АХОВ в водоемы; «химического» пожара с поступлением токсических веществ в окружающую среду; разрушительных взрывов; химического заражения объектов и местности в районе аварии и на следе распространения облака АХОВ; обширных зон задымления в сочетании с токсичными продуктами.

**Аварии на продуктопроводах** (газ, нефть и др.). Основными источниками аварий являются износ трубопроводов, их несвоевременный и некачественный ремонт. Годовой ущерб в России от износа только магистральных трубопроводов в 2005 г. оценен в 57 млрд. руб., а индивидуальный риск гибели людей при авариях на трубопроводах приближается к значениям, близким  $10^{-4}$  чел/год. В 2006 г. на продуктопроводах произошло 40 аварий.

Нарушение правил безопасности при эксплуатации газовых систем и их изношенность приводит к взрывам бытового газа, которые часто сопровождаются разрушением строительных конструкций и гибелью людей.

**Транспортные аварии.** Они имеют почти всегда техногенное происхождение, но обусловлены, как правило, ошибочными действиями людей. Причины авиационных катастроф распределяются (%) следующим образом:

|   |   |          |
|---|---|----------|
| Ошибочные действия пилотов              | — | 75 – 80; |
| Неправильное управление полетом с Земли | — | 3 – 6;   |
| Ошибки метеослужб                       | — | 5 – 6;   |
| Технические неисправности самолетов     | — | 10 – 12. |

Транспортные аварии происходят внезапно, что делает их непредсказуемыми по времени.

Масштабы гибели пассажиров на транспорте представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Масштабы гибели пассажиров на транспорте**

| Вид транспорта      | Численность пострадавших (по данным России), чел/год | Риск гибели пассажиров (по данным США), чел/год |
|---------------------|--|---|
| Автотдорожный       | 29500  | $2,1 \cdot 10^{-4}$                             |
| Гражданская авиация | 219  | $8 \cdot 10^{-6}$                               |
| Железнодорожный     | 20   | $9,1 \cdot 10^{-6}$                             |
| Водный              | 7  | $7,8 \cdot 10^{-4}$                             |

### **3. АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОСФЕРНЫХ ОПАСНОСТЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА**

Каждая из реальных ситуаций, приводящих к гибели людей, изучается достаточно подробно. Например, транспортные потери подразделяют на потери от автотранспорта, в авиации, на железных дорогах, на морских и речных судах и т.п. Потери на производстве обычно делят по видам производств (химическое, металлургическое, машиностроение и т.п.) или по видам опасных воздействий на человека (поражение электротоком, внутризаводским транспортом, технологическим оборудованием, падающими предметами при падении человека и т.п.).

Каждый вид опасного воздействия на работающего изучается максимально подробно, и на этой основе получают представление о влиянии совокупности технологических режимов, состава оборудования и аппаратуры на травматизм.

Воздействие опасностей на человека оценивают и по временному фактору. Общепринято сравнивать травматизм на основе годовой статистической отчетности. Более подробно распределение несчастных случаев анализируют по месяцам, дням недели и времени суток. Известно, например, что максимум смертельного электротравматизма приходится на июль, на начало недели (понедельник – среда) и на время дня с 9 до 15 ч.

Результат влияния вредных факторов на здоровье человека в зонах его пребывания определяется совокупностью и уровнями воздействия вредных факторов, а также длительностью нахождения человека в этих зонах. Совокупностью вредных факторов производственной среды рассмотрена в Р 2.2.2006 – 05. В этом документе определена связь между совокупностью вредных производственных факторов и классами условий труда. Шкала оценки ущерба здоровью работающих в виде сокращения продолжительности жизни в сутках за год в зависимости от класса условий труда приведена в табл. 3.



**Таблица 3. Классы условий труда в зависимости от содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ (превышение ПДК, разы)**

| Вредные вещества  | Класс условий труда   |           |            |             |             |
|---|---|-----------|------------|-------------|-------------|
|   | допустимый  | вредный   |            |             |             |
|   | 2   | 3.1       | 3.2        | 3.3         | 3.4         |
| Вредные вещества 1–4-го классов опасности, за исключением перечисленных ниже  | $\leq$ ПДК <sub>макс</sub>  | 1,1 – 3,0 | 3,1 – 10,0 | 10,1 – 15,0 | 15,1 – 20,0 |
|   | $\leq$ ПДК <sub>сс</sub>  | 1,1 – 3,0 | 3,1 – 10,0 | 10,1 – 15,0 | > 15,0      |
| Вещества, опасные для развития острого отравления:<br>с остронаправленным механизмом действия (хлор, аммиак);<br>раздражающего действия | $\leq$ ПДК <sub>макс</sub>  | 1,1 – 2,0 | 2,1 – 4,0  | 4,1 – 6,0   | 6,1 – 10,0  |
|   | $\leq$ ПДК <sub>макс</sub>  | 1,0 – 2,0 | 2,1 – 5,0  | 5,1 – 10,0  | 10,1 – 50,0 |
|   | $\leq$ ПДК <sub>сс</sub>  | 1,1 – 2,0 | 2,1 – 4,0  | 4,1 – 10,0  | > 10        |
| Особенности действия на организм  | Канцерогены; вещества, опасные для репродуктивного здоровья человека.<br>Аллергены:<br>высокоопасные;<br>умеренно-опасные | –         | 1,1 – 3,0  | 3,1 – 15,0  | 15,1 – 20,0 |
|   |   | 1,1 – 2,0 | 2,1 – 5,0  | 5,1 – 15,0  | > 20,0      |

Методика количественной оценки ущерба здоровью при работе в неблагоприятных условиях труда включает следующие этапы:

- оценку условий труда на рабочем месте в соответствии с Р 2.2.2006 – 05 и установление класса вредности условий труда;
- оценку ущерба здоровью в виде сокращения продолжительности жизни в зависимости от класса вредности условий труда по табл. 4 и 5.

**Таблица 4. Шкала оценки ущерба здоровью в зависимости от класса вредности условий труда**

| Класс вредности условий труда | Время сокращения средней продолжительности жизни, сут/год |                  |
|-------------------------------|---|------------------|
|                               | диапазон  | среднее значение |
| 3.1                           | 2,5 – 5,0   | 3,75             |
| 3.2                           | 5,1 – 12,5  | 8,75             |
| 3.3                           | 12,6 – 25,0   | 18,75            |
| 3.4                           | 25,1 – 75,0   | 50,0             |

**Таблица 5. Определение ущерба здоровью на основании общей оценки условий труда**

| Фактические условия труда       | Класс вредности условий труда | Ущерб, сут/год |
|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Один фактор класса 3.1          | 3.1                           | 2,5            |
| Два фактора класса 3.1          | 3.1                           | 3,75           |
| Три и более факторов класса 3.1 | 3.2                           | 5,1            |
| Один фактор класса 3.2          | 3.2                           | 8,75           |
| Два и более факторов класса 3.2 | 3.3                           | 12,6           |
| Один фактор класса 3.3          | 3.3                           | 18,75          |
| Два и более факторов класса 3.3 | 3.4                           | 25,1           |
| Один фактор класса 3.4          | 3.4                           | 50,0           |
| Два и более факторов класса 3.4 | 3.4                           | 75,1           |

Характерное состояние вредных факторов в условиях города и его жилых зон указывает на их высокую значимость. Учет влияния вредных факторов городской, транспортной, бытовой и иной сред на здоровье людей обычно проводится по укрупненным показателям.

При суточной миграции человека во вредных условиях жизненного пространства суммарная оценка ущерба здоровью человека при аддитивном подходе может быть определена приближенно по формуле

$$\Delta \text{СПЖ}_{\Sigma} = \Delta \text{СПЖ}_{\text{пр}} + \Delta \text{СПЖ}_{\text{т}} + \Delta \text{СПЖ}_{\text{б}}, \quad (1)$$

где  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{пр}}$ ,  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{г}}$ ,  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{б}}$  – сокращение средней продолжительности жизни при пребывании соответственно в условиях производства, города и быта, сут/год; в расчетах значения  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{пр}}$  находятся по методике, рассмотренной выше, а значения  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{г}}$  и  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{б}}$  можно приближенно определять по совокупности вредных факторов и их уровням, пользуясь рекомендациями Р 2.2.2006-05 или их оценкой по укрупненным показателям (табл. 6).

**Таблица 6. Вероятность сокращения средней продолжительности жизни вследствие причин, включая Чернобыльскую аварию**

| Причина   | СПЖ, сут. |
|---|-----------|
| Выкуривание 20 сигарет в день в течение 45 лет (мужчины)        | 2250      |
| Курение (женщины)   | 800       |
| Работа в угледобывающей промышленности                          | 1100      |
| Избыточный вес (20%)  | 900       |
| Проживание в неблагоприятных условиях                           | 500       |
| Автокатастрофы  | 207       |
| Алкоголь (в среднем)  | 130       |
| Потребление кофе  | 6         |
| Выполнение работ, связанных с радиационным облучением           | 40        |
| Медицинское рентгеновское исследование                          | 6         |
| Загрязнение воздуха в крупных городах                           | 350       |
| Электромагнитный фон ЛПЭ (в течение 75 лет)                     | 40        |
| Проживание в 30-километровой зоне около ЧАЭС (в течение 20 лет) | 30        |
| Ликвидаторы аварий, получившие дозу 1 Зв                        | 680       |

Например, для сотрудника предприятия, работающего в условиях класса 3.3 при двух факторах негативного воздействия, проживающего в городе с загрязненной атмосферой и выкуривающего до 20 сигарет в день, суммарное снижение продолжительности жизни к возрасту 45 лет составляет 3153 сут., т.е. 8,6 года, поскольку  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{пр}} = 25,1 \cdot (45 - 18) = 678$  сут.;  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{г}} = (350/70) \cdot 45 = 224$  сут.;  $\Delta\text{СПЖ}_{\text{б}} = 2250$  сут.

Использование расчетных значений показателя  $\Delta\text{СПЖ}$  позволяет прогнозировать продолжительность жизни людей в зависимости от поведения человека в быту. Действительно, если рассмотренный выше сотрудник работал бы в комфортных условиях, жил бы в незагрязненном атмосферном воздухе и не курил бы, то он жил бы 45 лет, а не 36,4 года.

Уровни вредных воздействий, возможные в условиях производства, не ограничиваются значениями, соответствующими классу 3.4. При более высоких величинах их воздействие может стать травмирующим.

Пороговые значения таких условий от вредных факторов, приведенные в Р 2.2.2006-05, составляют:

- вредные вещества 1 и 2-го классов опасности → 20 ПДК;
- вредные вещества, опасные для развития острого отравления → 10 ПДК;
- шум, дБ → превышение ПДУ > 35;
- вибрация локальная, дБ → превышение ПДУ > 12/4<sup>1</sup>;
- вибрация общая, дБ → превышение ПДУ > 24/8<sup>1</sup>;
- инфразвук, общий уровень звукового давления, дБ → 20;
- ультразвук воздушный, уровни звукового давления в третьоктавных полосах частот, дБ → 40;
- ультразвук контактный, уровень виброскорости, дБ → 20;
- тепловое облучение, Вт/м<sup>2</sup> → 2800;
- электрические поля промышленной частоты → 40 ПДУ;
- лазерное излучение → 10 ПДУ при однократном воздействии.

Следует отметить, что работа в условиях 4-го класса не допускается, за исключением ликвидации аварий и проведения экстренных работ для предупреждений аварийных ситуаций. При этом работы должны проводиться с применением средств индивидуальной защиты при строгом соблюдении режимов проведения таких работ.

#### 4. ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ПО РАСЧЕТУ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

В последнее время в практике оценки качества окружающей среды и его связи со здоровьем преобладает внедрение методологии оценки риска. Оценка риска позволяет осуществить прогноз возможных последствий для здоровья населения на основе сопоставления количественных уровней риска при различных сценариях развития промышленного производства, автотранспорта и хозяйственной деятельности в целом.

Канцерогенный риск - вероятность развития злокачественных новообразований на протяжении всей жизни человека, обусловленная воздействием потенциального канцерогена.

Величина индивидуального канцерогенного риска *ICR* рассчитывается по следующей формуле:

$$ICR = LADD \cdot SF, \quad (2)$$

где *LADD* - среднесуточная доза (или среднесуточное поступление) за весь период жизни, мг/(кг · день); *SF* - фактор канцерогенного потенциала, (мг/(кг · сут.))<sup>-1</sup>. В табл. 7 приведены значения канцерогенного потенциала (*SF*) для некоторых веществ - канцерогенов.

$$LADD = C \cdot CR \cdot ED \cdot EF / (BW \cdot AT \cdot 365), \quad (3)$$

где *C* – концентрация вещества, мг/м<sup>3</sup>; *CR* – скорость поступления воздействующей среды, м<sup>3</sup>/день;

$$CR = T_{out} \cdot V_{out} + T_i \cdot V_{in} = 21,3 \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4)$$

где  $T_{out}$  - время, проводимое вне помещений, 8 час/день;  $V_{out}$  - скорость дыхания вне помещений, 1,4 м<sup>3</sup>/час;  $T_i$  - время, проводимое внутри помещений, 16 час/день;  $V_{in}$  - скорость дыхания внутри помещений, 0,63 м<sup>3</sup>/час;  $ED$  – продолжительность воздействия, принимают стандартное значение 30 лет;  $EF$  – частота воздействия, принимают стандартное значение 350 дней/год;  $BW$  – масса тела взрослого человека = 70 кг, масса тела ребёнка = 15 кг;  $AT$  – период усреднения экспозиции (для канцерогенов  $AT = 70$  лет, для не канцерогенов  $AT = 30$  лет);  $EF = 350$  дней/год.

**Таблица 7. Факторы канцерогенного потенциала**

| Вещество                     | SF, (мг/(кг сут.)) <sup>-1</sup> |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1,1,1,2-Тетрахлорэтан        | 0,026                            |
| 1,1,2-Трихлорэтан            | 0,057                            |
| 1,1-Дихлорэтан               | 0,0057                           |
| 1,1-Дихлорэтилен             | 0,18                             |
| Асбесты                      | 22                               |
| Ацетальдегид                 | 0,0077                           |
| Бензин                       | 0,035                            |
| Бензо(а)пирен                | 3,9                              |
| Бензол                       | 0,027                            |
| Дихлорбензол                 | 0,024                            |
| Дихлорметан                  | 0,0016                           |
| Дихлорофос                   | 0,29                             |
| Дихлорэтан                   | 0,091                            |
| Сажа                         | 0,0155                           |
| Свинец                       | 0,042                            |
| Хлорметан                    | 0,0063                           |
| Хлороформ                    | 0,008                            |
| Хлорэндиковая кислота        | 0,091                            |
| Хлорэтан                     | 0,0047                           |
| Хром                         | 42                               |
| Хром триоксид                | 42                               |
| Хромовая кислота             | 42                               |
| Эмиссии дизельных двигателей | 1,1                              |
| Эпихлоргидрин                | 0,0042                           |
| Этилбензол                   | 0,00385                          |
| Этиленоксид                  | 0,35                             |

Полученное значение  $ICR$  характеризует верхнюю границу канцерогенного риска за среднюю продолжительность жизни (70 лет). Например,  $ICR = 10^{-4}$  означает, что в когорте населения численностью 10000 человек возникнет один дополнительный случай злокачественного новообразования. Таким образом, величина  $ICR$  является оценкой индивидуального риска развития рака за среднюю продолжительность жизни.

Популяционный канцерогенный риск характеризует дополнительное (к фоновому уровню заболеваемости) число случаев злокачественных новообразований в исследуемой популяции и чаще всего выражается за год:

$$PCR = LADD \cdot SF \cdot POP / 70, \quad (5)$$

где  $POP$  – численность исследуемой популяции; 70 – средняя продолжительность жизни человека, принятая при оценке канцерогенного риска.

**Задача №1.** В воздухе вблизи химического завода находится хлороформ, средняя концентрация которого по результатам многолетних наблюдений составляет  $0,04 \text{ мг/м}^3$ , и этилбензол, средняя концентрация которого составляет  $0,09 \text{ мг/м}^3$ . На протяжении 20 лет таким воздухом дышит население, численностью 8000 человек. Количество дней в году, в течение которых люди подвергаются канцерогенному риску, равно в среднем 350. Рассчитать значения индивидуального и коллективного канцерогенных рисков, обусловленных комбинированным действием двух токсикантов-канцерогенов.

**Решение.** Среднесуточная доза (или среднесуточное поступление) поступления хлороформа с воздухом за 20 лет жизни,  $\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{день})$ :

$$\begin{aligned} LADD_x &= C_x \cdot CR \cdot ED \cdot EF / (BW \cdot AT \cdot 365) = \\ &= 0,04 \cdot 21,3 \cdot 20 \cdot 350 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,0034 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{день}), \end{aligned}$$

где  $C$  – концентрация вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $CR$  – скорость поступления воздействующей среды,  $\text{м}^3/\text{день}$ ;  $ED$  – продолжительность воздействия, лет;  $EF$  – частота воздействия, дней/год;  $BW$  – масса тела человека, кг;  $AT$  – период усреднения экспозиции (для канцерогенов  $AT = 70$  лет).

Среднесуточная доза (или среднесуточное поступление) поступления этилбензола с воздухом за 20 лет жизни,  $\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{день})$ :

$$\begin{aligned} LADD_{\text{э}} &= C_{\text{э}} \cdot CR \cdot ED \cdot EF / (BW \cdot AT \cdot 365) = \\ &= 0,09 \cdot 21,3 \cdot 20 \cdot 350 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,0076 \text{ мг}/(\text{кг} \cdot \text{день}). \end{aligned}$$

Величина индивидуального канцерогенного риска, обусловленного хлороформом, рассчитывается по формуле

$$ICR_x = LADD_x \cdot SF_x = 0,0034 \cdot 0,008 = 0,000027.$$

Величина индивидуального канцерогенного риска, обусловленного этилбензолом, рассчитывается по формуле

$$ICR_{\text{э}} = LADD_{\text{э}} \cdot SF_{\text{э}} = 0,0076 \cdot 0,00385 = 0,000029.$$

Суммарный индивидуальный риск за 20 лет:

$$ICR = ICR_x + ICR_{\text{э}} = 0,000027 + 0,000029 = 0,000056.$$

Эта величина ниже допустимого риска, который считается равным  $1 \cdot 10^{-4}$ .

Диапазон индивидуального риска более  $1 \cdot 10^{-6}$ , но менее  $1 \cdot 10^{-4}$ , соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом (для атмосферного воздуха –  $1 \cdot 10^{-4}$ ). Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Коллективный риск:

$$\begin{aligned} PCR &= (LADD_x \cdot SF_x + LADD_{\text{э}} \cdot SF_{\text{э}}) \cdot POP = \\ &= (0,0034 \cdot 0,008 + 0,0076 \cdot 0,00385) \cdot 8000 = 0,45 < 1. \end{aligned}$$

Следовательно, в течение 20 лет не будет наблюдаться ни одного дополнительного случая онкологического заболевания.

**Задача №2.** Среднее содержание бенз(а)пирена в воздухе населенного пункта соответствует величине ПДКс.с. Количество дней в году, в течение которых люди подвергаются канцерогенному риску, равно в среднем 350. Каков пожизненный индивидуальный и коллективный канцерогенный риск для здоровья населения, численностью 200000?

**Решение.** Среднесуточная доза (или среднесуточное поступление) в течение всей жизни, мг/(кг · день):

$$\begin{aligned} LADD &= C \cdot CR \cdot ED \cdot EF / (BW \cdot AT \cdot 365) = \\ &= 0,000001 \cdot 21,3 \cdot 70 \cdot 350 / (70 \cdot 70 \cdot 365) = 0,000000098 \text{ мг/(кг · день)}, \end{aligned}$$

где:  $C$  – концентрация бенз(а)пирена, мг/м<sup>3</sup>;  $CR$  – скорость поступления воздействующей среды, м<sup>3</sup>/день;  $ED$  – продолжительность воздействия, лет;  $EF$  – частота воздействия, дней/год;  $BW$  – масса тела человека, кг;  $AT$  – период усреднения экспозиции (для канцерогенов  $AT = 70$  лет).

Величина индивидуального канцерогенного риска рассчитывается по формуле

$$ICR = LADD \cdot SF = 0,000000098 \cdot 3,9 = 0,00000038.$$

Эта величина ниже «минимального» риска, который считается равным  $1 \cdot 10^{-6}$ .

Подобный индивидуальный риск не требует дополнительных мероприятий по его снижению, и его уровень подлежит только периодическому контролю с целью поддержания степени загрязнения воздуха на таком низком уровне.

Коллективный риск:

$$PCR = LADD \cdot SF \cdot POP = 0,000000098 \cdot 3,9 \cdot 200000 = 0,076 < 1.$$

Т.е. среди 200000 жителей в течение всей жизни не должно быть ни одного случая онкозаболевания, вызванного действием бенз(а)пирена.

## 5. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Нормирование качества атмосферного воздуха осуществляется с целью установления предельно допустимых нормативов для загрязняющих атмосферу веществ, гарантирующих безопасность здоровья населения и биосферы в целом.

В соответствии с действующим законодательством, качество атмосферного воздуха определяется нормативами предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ.

В настоящее время используются несколько видов ПДК: максимальная разовая (ПДК<sub>МР</sub>) и среднесуточная (ПДК<sub>СС</sub>), предельно допустимая концентрация для населенных мест и предельно допустимая концентрация для воздуха рабочей зоны (ПДК<sub>РЗ</sub>).

**Предельно допустимая концентрация примеси в атмосфере** – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного действия, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом. В справочниках приводятся максимально-разовое значение ПДК (ПДК<sub>МР</sub>) и среднесуточное ПДК (ПДК<sub>СС</sub>).

**Предельно допустимая максимальная разовая концентрация** химического вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация при вдыхании в течение 20 – 30 мин не должна вызывать рефлекторных реакций в организме человека и острых отравлений при кратковременном действии примесей.

**Предельно допустимая среднесуточная концентрация** вредного токсического вещества в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>. Эта концентрация, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом круглосуточном (24 ч) вдыхании.

Величина ПДК зависит от степени токсичности вещества, характеризующейся классом опасности. В зависимости от степени воздействия на организм человека все нормируемые вещества подразделяются на 4 класса опасности:

1-й класс – чрезвычайно опасные вещества, значение ПДК которых в воздухе рабочей зоны не превышает 0,1 мг/м<sup>3</sup>;

2-й класс – высокоопасные, со значением ПДК<sub>РЗ</sub> от 0,1 до 1 мг/м<sup>3</sup>;

3-й класс – умеренно опасные, со значением ПДК<sub>РЗ</sub> от 1 до 10 мг/м<sup>3</sup>;



4-й класс – малоопасные, со значением ПДК > 10 мг/м<sup>3</sup>.

В качестве примера в табл. 8 приведены характеристики некоторых вредных веществ.

**Таблица 8. Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест**

| N п/п | Наименование вещества  | Формула                                       | Класс опасности | Предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м <sup>3</sup> |                     |
|-------|--|---|-----------------|--|---------------------|
|       |  |   |                 | максимальная разовая                                       | среднесуточная      |
| 1.    | Диоксид серы   | SO <sub>2</sub>                               | 3               | 0,5  | 0,05                |
| 2.    | Сероводород  | H <sub>2</sub> S                              | 2               | 0,008  | -                   |
| 3.    | Циклогексан  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>                | 4               | 1,4  | 1,4                 |
| 4.    | Сероуглерод  | CS <sub>2</sub>                               | 2               | 0,03   | 0,005               |
| 5.    | Диоксид азота  | NO <sub>2</sub>                               | 2               | 0,085  | 0,04                |
| 6.    | Аммиак   | NH <sub>3</sub>                               | 4               | 0,20   | 0,04                |
| 7.    | Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец) | Pb  | 1               | 0,001  | 0,0003              |
| 8.    | Ацетон   | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O               | 4               | 0,35   | 0,35                |
| 9.    | Бензин нефтяной  | -   | 4               | 5,0  | 1,5                 |
| 10.   | Формальдегид   | CH <sub>2</sub> O                             | 2               | 0,035  | 0,003               |
| 11.   | Бензол   | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                 | 2               | 1,5  | 0,1                 |
| 12.   | Дихлорэтан   | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> | 2               | 3,0  | 1,0                 |
| 13.   | Пыль мучная  | -   | 3               | 0,5  | 0,15                |
| 14.   | Пропилен   | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                 | 3               | 3,0  | 3,0                 |
| 15.   | Фенол  | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O               | 2               | 0,01   | 0,003               |
| 16.   | Оксид углерода (II)  | CO  | 4               | 5,0  | 3,0                 |
| 17.   | Кислота серная   | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                | 2               | 0,3  | 0,1                 |
| 18.   | Пыль зерновая  | -   | 3               | 0,2  | 0,03                |
| 19.   | Бенз(а)пирен   | C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>               | 1               | -  | 1 нг/м <sup>3</sup> |
| 20.   | Сажа   | -   | 3               | 0,15   | 0,05                |
| 21.   | Пыль сахара  | -   | 3               | 0,5  | 0,15                |
| 22.   | Стирол   | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>                 | 2               | 0,04   | 0,002               |
| 23.   | Пыль шрота   | -   | 3               | 0,5  | 0,15                |
| 24.   | Пыль цемента   | -   | 3               | 0,3  | 0,15                |
| 25.   | Микроорганизмы и микроорганизмы-продуценты                     | -   | -               | 5000 кл/м <sup>3</sup>                                     | 1 нг/м <sup>3</sup> |

Примечание: Микроорганизмы-продуценты присутствуют в воздухе населенных мест в виде аэрозолей. Величина ПДК максимальная разовая микроорганизмов выражена количеством микробных клеток на 1 м<sup>3</sup> воздуха (кл/м<sup>3</sup>).

Нормированные характеристики загрязнения атмосферы называют индексом загрязнения атмосферы (ИЗА).

ИЗА можно разделить на 2 основные группы

1. Единичные индексы загрязнения атмосферы одной примесью.
2. Комплексные показатели загрязнения атмосферы несколькими веществами (КИЗА).

К единичным индексам относится коэффициент ( $q_i$ ) для выражения концентрации  $i$ -той примеси в единицах ПДК, его определяют по формуле

$$q_i = C_i / \text{ПДК}_i . \quad (6)$$

Этот ИЗА используется как критерий качества атмосферного воздуха отдельными примесями.

ИЗА ( $I_i$ ) для одной примеси – количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы отдельной примесью, учитывающая класс опасности вещества через нормирование на опасность по диоксиду серы:

$$I_i = (C_i / \text{ПДК}_{\text{cc}})^{\beta_i} , \quad (7)$$

где  $i$  – примесь;  $\beta_i$  - константа для различных классов опасности по приведению к степени вредности диоксида серы ( $\text{SO}_2$ );  $C_i$  - среднегодовая концентрация  $i$ -той примеси.

Для веществ различных классов опасности  $\beta_i$  принимается:

|                        |     |     |     |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| <i>класс опасности</i> | 1   | 2   | 3   | 4   |
| $\beta_i$              | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 |

Следует отметить, что при наличии в атмосферном воздухе нескольких вредных веществ, обладающих суммацией действия с концентрациями  $C$ , расчет допустимого содержания веществ проводится по формуле

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n \leq 1, \quad (8)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – фактические концентрации веществ в атмосфере,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$  – соответствующие ПДК для этих веществ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Эффектом суммации действия обладают следующие сочетания вредных веществ:

- ацетон и фенол; диоксид серы и фенол;
- диоксид серы и диоксид азота;
- диоксид серы и аэрозоль серной кислоты;
- диоксид серы и сероводород;
- циклогексан и бензол; аммиак и оксиды азота;
- аммиак, сероводород и формальдегид;
- диоксид азота, оксид углерода (II) и формальдегид;
- диоксид азота, диоксид серы и оксид углерода (II);
- диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода (II) и фенол;
- оксид свинца и диоксид серы;
- сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная);

- оксид углерода (II) и пыль цементного производства;
- уксусная кислота и уксусный ангидрид;
- циклогексан и бензол и др.

Комплексный индекс загрязнения атмосферы города (**КИЗА**) – это количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы, создаваемого  $n$  веществами, присутствующими в атмосфере города:

$$I_n = \sum I_i, \quad (9)$$

где  $I_i$  – единичный индекс загрязнения атмосферы  $i$ -ым веществом, рассчитанный по формуле (7).

Комплексный индекс загрязнения атмосферы ( $I_5$ , или **КИЗА<sub>5</sub>**) приоритетными веществами – количественная характеристика уровня загрязнения атмосферы приоритетными веществами (обычно пятью), определяющими загрязнение атмосферы в городе, рассчитывается аналогично **КИЗА**:

$$I_5 = \text{КИЗА}_5 = \sum_{i=1}^5 \left( \frac{C_i}{\text{ПДК}_{cc}} \right)^{\beta_i}. \quad (10)$$

Приоритетность можно рассчитать по уравнению (7). Чем больше значение  $I_i$ , тем более опасным загрязняющим веществом в атмосферном воздухе является примесь.

Для оценки загрязнения атмосферы используются два показателя качества воздуха:

а) комплексный индекс загрязнения атмосферы **КИЗА<sub>5</sub>**, он рассчитывается по формуле (10);

б) стандартный индекс **СИ** - наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на  $\text{ПДК}_{\text{МР}}$ . Стандартный индекс рассчитывается по формуле (6).

В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения оценивается в соответствии с табл. 9.

**Таблица 9. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от значений показателей качества воздуха**

| Уровень загрязнения атмосферного воздуха | <b>КИЗА<sub>5</sub></b> | <b>СИ</b> |
|--|-------------------------|-----------|
| Низкий                                   | 0–4                     | <1        |
| Повышенный                               | 5–6                     | 1–4       |
| Высокий                                  | 7–13                    | 5–10      |
| Очень высокий                            | ≥14                     | >10       |

**Пример 1.** Оценить качество работы очистных фильтров предприятия, если среднесуточная проба воздуха близлежащего города содержала:

- диоксид азота – 0,021 мг/м<sup>3</sup>;

- оксид углерода – 0,52 мг/м<sup>3</sup>;
- диоксид серы – 0,028 мг/м<sup>3</sup>;
- сажа – 0,01 мг/м<sup>3</sup>;
- стирол – 0,001 мг/м<sup>3</sup>;
- ксилол – 0,008 мг/м<sup>3</sup>.

**Решение.** Используя данные ПДК для атмосферного воздуха населенных мест, анализируем, что ни одно из выше перечисленных веществ не превышает границы ПДК. Однако, в этой пробе воздуха содержатся вещества, обладающие суммацией действия: диоксид серы и диоксид азота, диоксид азота и оксид углерода. В этом случае применяем формулу (8). Остальные вещества не обладают эффектом суммации, поэтому концентрация их не учитывается:

$$\frac{0,021}{0,04} + \frac{0,52}{3,0} + \frac{0,028}{0,05} = 0,53 + 0,17 + 0,56 = 1,26.$$

Вывод. Так как содержание веществ в атмосфере превышает 1, следовательно, фильтры не производят должную очистку промышленных выбросов.

**Пример 2.** Рассчитать комплексный ИЗА и оценить качество воздуха, если среднегодовая концентрация примесей следующая:

- аммиак – 0,018 мг/м<sup>3</sup>;
- фенол – 0,0024 мг/м<sup>3</sup>;
- формальдегид – 0,01 мг/м<sup>3</sup>;
- пыль зерновая – 0,014 мг/м<sup>3</sup>;
- пыль цемента – 0,06 мг/м<sup>3</sup>.

**Решение.** КИЗА<sub>5</sub> рассчитывается по формуле (10), учитывая класс опасности каждого вещества:

$$Ii = \frac{0,018}{0,04} \cdot 0,9 + \frac{0,0024}{0,003} \cdot 1,3 + \frac{0,01}{0,003} \cdot 1,3 + \frac{0,014}{0,03} \cdot 1,0 + \frac{0,06}{0,15} \cdot 1,0 = 6,65.$$

По формуле (6) определяем стандартный индекс для формальдегида:

$$q_{\phi} = \frac{0,01}{0,035} = 0,3.$$

Вывод. КИЗА<sub>5</sub> = 6,65, близкий к 7, согласно табл. 9 уровень загрязнения атмосферного воздуха считается высоким, этот факт можно объяснить тем, что концентрация формальдегида превышает ПДК<sub>СС</sub>.

**Задача 1.** Используя исходные данные табл. 9 и 10, оценить качество работы очистных фильтров предприятия, выпускающего продукцию К, если в среднесуточной пробе воздуха прилегающего жилого района обнаружены следующие вещества.

**Таблица 9. Исходные данные для выполнения работы**

| Вещество                        | Среднегодовая концентрация примеси, мг/м <sup>3</sup> |       |       |        |       |       |
|---------------------------------|---|-------|-------|--------|-------|-------|
|                                 | № варианта  |       |       |        |       |       |
|                                 | 1   | 2     | 3     | 4      | 5     | 6     |
| Диоксид серы                    | 0,012   |       |       |        | 0,03  |       |
| Сероводород                     |   |       |       | 0,05   |       |       |
| Сероуглерод                     | 0,01  |       |       |        |       |       |
| Диоксид азота                   | 0,018   |       |       |        |       | 0,007 |
| Аммиак                          | 0,004   |       |       | 0,5    |       | 0,09  |
| Ацетон                          |   | 0,09  | 0,012 |        |       |       |
| Бензол                          |   | 0,005 |       |        |       | 0,63  |
| Дихлорэтан                      |   | 0,033 |       |        |       |       |
| Циклогексан                     |   | 1,2   |       |        | 1,47  |       |
| Пропилен                        |   | 0,8   |       |        |       | 0,72  |
| Фенол                           |   | 0,001 | 0,002 |        | 0,002 |       |
| Оксид углерода                  |   |       | 2,85  |        |       |       |
| Свинец и его соед.              |   |       |       | 0,0004 |       |       |
| Бензин нефтяной                 |   |       | 1,2   |        |       |       |
| Бенз(а)пирен, нг/м <sup>3</sup> |   |       |       | 1,03   |       | 0,73  |
| Пыль мучная                     |   |       | 0,15  |        |       |       |
| Сажа                            | 0,02  |       |       |        |       | 0,04  |
| Пыль зерновая                   |   |       | 0,02  | 0,02   | 0,04  |       |
| Стирол                          |   |       |       |        | 0,001 |       |
| Пыль сахара                     |   |       |       |        | 0,15  |       |
| Пыль шрота                      |   | 0,12  |       |        |       | 0,09  |
| Пыль цемента                    |   |       | 0,13  | 0,13   |       |       |

**Таблица 10. Исходные данные для выполнения работы**

| Вещество           | № варианта |       |        |       |       |       |
|--------------------|------------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                    | 7          | 8     | 9      | 10    | 11    | 12    |
| Диоксид серы       |            | 0,037 | 0,002  |       |       | 0,031 |
| Сероводород        |            | 0,001 |        |       |       |       |
| Сероуглерод        | 0,003      |       |        |       | 0,047 |       |
| Диоксид азота      |            |       | 0,032  |       |       |       |
| Аммиак             | 0,09       |       | 0,004  |       |       |       |
| Ацетон             |            |       |        | 0,28  |       |       |
| Бензол             |            | 0,055 |        |       |       |       |
| Дихлорэтан         |            |       |        |       |       |       |
| Циклогексан        |            |       | 0,83   |       |       | 1,25  |
| Пропилен           |            |       |        | 2,23  |       |       |
| Фенол              |            |       |        | 0,001 |       |       |
| Оксид углерода     |            |       |        |       | 0,73  |       |
| Свинец и его соед. |            |       | 0,0001 |       |       |       |
| Бензин нефтяной    |            |       |        |       |       |       |

**Окончание табл. 10**

| Вещество                        | № варианта |       |       |    |      |       |
|---------------------------------|------------|-------|-------|----|------|-------|
|                                 | 7          | 8     | 9     | 10 | 11   | 12    |
| Бенз(а)пирен, нг/м <sup>3</sup> |            |       | 1,0   |    |      | 0,2   |
| Пыль мучная                     |            |       |       |    | 0,13 |       |
| Сажа                            |            | 0,014 | 0,05  |    |      | 0,03  |
| Пыль зерновая                   |            |       |       |    |      |       |
| Стирол                          |            |       | 0,002 |    |      | 0,001 |
| Пыль сахара                     |            |       |       |    |      |       |
| Пыль шрота                      | 0,07       | 0,14  |       |    | 0,08 | 0,15  |
| Пыль цемента                    | 0,13       |       |       |    | 0,1  | 0,08  |

**Задача 2.** По данным табл. 11 и 12 рассчитать:

- 1) коэффициент превышения ПДК<sub>сс</sub> по *i*-тому ингредиенту ( $q_i$ );
- 2) ИЗА ( $I_i$ ) отдельным ингредиентом;
- 3) номер *i*-того ингредиента в порядке уменьшения  $I_i$  (выполнить ранжирование загрязняющих веществ). Указать наиболее опасный из пяти ингредиентов;
- 4) величину КИЗА<sub>5</sub>. Указать уровень загрязнения атмосферного воздуха.

**Таблица 11. Исходные данные для выполнения работы**

| Вещество                        | № варианта |       |       |       |       |      |
|---------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                 | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    |
| Диоксид серы                    |            |       |       | 0,02  |       |      |
| Сероводород                     |            |       |       | 0,05  |       |      |
| Серовуглерод                    | 0,003      |       |       | 0,005 |       |      |
| Диоксид азота                   |            | 0,063 |       |       |       |      |
| Аммиак                          |            | 0,057 |       |       |       |      |
| Ацетон                          | 0,35       |       |       |       | 0,37  |      |
| Бензол                          |            |       | 0,17  |       |       |      |
| Дихлорэтан                      |            |       |       |       | 1,4   |      |
| Циклогексан                     |            | 1,59  |       |       |       | 2,63 |
| Пропилен                        | 3,16       |       |       |       |       | 0,94 |
| Фенол                           |            | 0,001 |       |       | 0,004 |      |
| Оксид углерода                  |            | 0,96  | 4,1   |       |       |      |
| Бензин нефтяной                 | 1,5        |       | 1,2   |       |       |      |
| Бенз(а)пирен, нг/м <sup>3</sup> | 0,8        |       |       |       | 1,3   | 0,07 |
| Пыль мучная                     |            |       |       | 0,14  |       |      |
| Сажа                            | 0,01       |       |       |       |       |      |
| Пыль зерновая                   |            | 0,044 |       | 0,026 |       |      |
| Стирол                          |            |       | 0,002 |       | 0,002 |      |
| Пыль сахара                     |            |       |       |       |       |      |
| Пыль шрота                      |            | 0,07  | 0,08  |       |       |      |
| Пыль цемента                    | 0,24       |       |       |       |       |      |

**Таблица 12. Исходные данные для выполнения работы**

| Вещество                        | № варианта |        |       |       |       |       |
|---------------------------------|------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                                 | 7          | 8      | 9     | 10    | 11    | 12    |
| Диоксид серы                    | 0,019      | 0,12   |       |       |       | 0,031 |
| Сероводород                     |            | 0,34   |       |       |       |       |
| Сероуглерод                     |            |        | 0,004 |       |       |       |
| Диоксид азота                   | 0,026      |        |       |       |       | 0,017 |
| Аммиак                          |            |        |       | 0,016 |       | 0,019 |
| Ацетон                          |            |        | 0,58  |       |       |       |
| Бензол                          | 0,06       |        |       |       | 1,38  |       |
| Дихлорэтан                      |            |        | 0,76  |       | 0,17  |       |
| Циклогексан                     |            |        |       | 1,92  | 1,22  |       |
| Пропилен                        |            |        |       |       | 5,62  |       |
| Фенол                           |            | 0,0012 |       |       |       |       |
| Оксид углерода                  | 1,35       |        |       | 2,15  |       | 3,8   |
| Бензин нефтяной                 |            | 0,008  | 0,029 |       |       | 0,005 |
| Бенз(а)пирен, нг/м <sup>3</sup> | 0,99       |        |       |       | 0,49  | 1,79  |
| Пыль мучная                     |            | 0,92   |       |       |       |       |
| Сажа                            | 0,03       |        |       |       |       | 0,06  |
| Пыль зерновая                   |            |        |       | 0,013 |       |       |
| Стирол                          |            | 0,001  |       |       |       |       |
| Пыль сахара                     | 0,087      |        |       |       | 0,064 |       |
| Пыль шрота                      |            | 0,16   |       |       |       |       |
| Пыль цемента                    | 0,11       |        |       | 0,09  |       |       |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Николайкин, Н.И.** Экология: учебник для технических вузов / Н.И. Николайкин, Н.Е. Николайкина, О.П. Мелехова. – М.: Дрофа, 2003. – 624 с.
2. **Белов, С.В.** Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров / С.В. Белов. – М.: Юрайт, 2013. – 682 с.
3. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
4. ГОСТ Р 58577-2019. Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими хозяйствующими субъектами и методы определения этих нормативов: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2019 г. N 888-ст: введен впервые к исполнению: Дата введения 2020-01-01. – М.: Стандартинформ, 2019.

5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: издание официальное: утверждены и введены в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2: вступили в силу с 1 марта 2021. – Текст: электронный // КонсультантПлюс: сайт. – URL:

<https://www.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&ts=1037890408003088895908546463&cacheid=25FFCC48E8793DDE957E9F8BE7753864&mode=splus&base=RZR&n=375839&rnd=0C1425E0C4B351C185E57C6B8581736A#1ppr2j56g51> (дата обращения 10.06.2021)

6. **Тищенко, Н.Ф.** Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределения в воздухе: справочник / Н.Ф. Тищенко. – М.: Химия, 1991. – 368 с.