

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Актуализировано
на заседании кафедры
экологии и безопасности жизнедеятельности,
протокол от «15»июня 2018 г. №19

Согласовано:
Председатель УМК факультета

И.о.зав.кафедрой  Тельцова Л.З.

 Шпирная И.А.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Вариативная часть

дисциплина

Техногенные экосистемы и экологический риск

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)
05.03.06 Экология и природопользование

Направленность (профиль) подготовки
Природопользование

Квалификация
Бакалавр

Разработчик (составитель)
доцент кафедры экологии и
безопасности жизнедеятельности, к.б.н.



/ Ахмедьянов Д.И.

Для приема 2017 г.

Уфа 2018 г.

Составитель: Ахмедьянов Д.И.

Рабочая программа дисциплины актуализирована на заседании кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности протокол № 19 от «15» июня 2018 г.

И.о. заведующего кафедрой Тельцова Л.З. Тельцова Л.З.

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, актуализированы на заседании кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности: обновлены программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы, протокол №21 от «29» апреля 2019 г.

И.о. заведующего кафедрой Тельцова Л.З. Тельцова Л.З.

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	5
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	6
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	6
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	8
4.3. Рейтинг-план дисциплины	10
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	79
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	79
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	80
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	81
Приложение №1	83
Приложение №2	89

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать основы прогнозирования техногенных катастроф и их последствий, планирования мероприятий по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф.	ПК-4	
	2. Знать теоретические основы экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.	ПК-8	
	3. Знать теоретические основы экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска.	ОПК-8	
Умения	1. Уметь принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий.	ПК-4	
	2. Уметь использовать теоретические знания основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.	ПК-8	
	3. Уметь использовать теоретические знания в практической деятельности по организации экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска.	ОПК-8	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть способностью прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий.	ПК-4	
	2. Владеть знаниями теоретических основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.	ПК-8	
	3. Владеть знаниями о теоретических основах экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, способностью к использованию теоретических знаний в практической деятельности.	ОПК-8	

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «*Техногенные системы и экологический риск*» относится к базовой части.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 6 семестре на очной форме обучения.

Цели изучения дисциплины: формирование у будущих специалистов представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности, контролю эксплуатируемых систем, защите среды и человека

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Дисциплина является продолжением освоенной в предыдущих модулях и циклах бакалавриата дисциплин, в первую очередь – базовых дисциплин математического и естественно-научного цикла, а также базовой части профессионального цикла. Это, в частности, дисциплины «Охрана окружающей среды», «Основы природопользования», «Общая экология», «Оценка воздействия на окружающую среду». В связи с этим в программе учтен базовый объем знаний и навыков. Темы курса содержат специализированную информацию и способствуют освоению в дальнейшем профессиональных дисциплин профессионального цикла.

Для успешного освоения курса студенты должны свободно владеть математическим аппаратом экологических наук для обработки информации и анализа данных; иметь базовые знания в области информатики и современных геоинформационных технологий; иметь базовые знания фундаментальных разделов естественных и математических наук, а также профессионально профилированные знания и способность их использовать в области экологии и природопользования.

Изучение дисциплины «Техногенные системы и экологический риск» необходимо как предшествующее для программ магистерской подготовки (преимущественно по направлению «Природопользование»), а также дисциплин бакалавриата – «Нормирование загрязнений окружающей среды; «Прикладная экология» и др.

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

ПК-4 способность прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап (уровень)	Знать: теорию прогнозирования и ликвидации техногенных катастроф	Не знает теорию прогнозирования и ликвидации техногенных катастроф	Отлично знает теорию прогнозирования и ликвидации техногенных катастроф
Второй этап (уровень)	Уметь: применять профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	Не умеет применять профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	Отлично умеет применять профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий
Третий этап (уровень)	Владеть: навыками прогнозирования техногенных катастроф и их последствий и планирования мероприятия по профилактике и ликвидации экологических катастроф	Не владеет навыками прогнозирования техногенных катастроф и их последствий и планирования мероприятия по профилактике и ликвидации экологических катастроф	Отлично владеет навыками прогнозирования техногенных катастроф и их последствий и планирования мероприятия по профилактике и ликвидации экологических катастроф

ПК-8 владение знаниями теоретических основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.

Этап (уровень) освоения компетенц ии	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап (уровень)	Знать: теоретические основы организации экологического мониторинга, экспертизы, менеджмента и аудита.	Не знает теоретические основы организации экологического мониторинга, экспертизы, менеджмента и аудита.	Отлично знает теоретические основы организации экологического мониторинга, экспертизы, менеджмента и аудита.
Второй этап (уровень)	Уметь: применять профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	Не умеет применять профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	Отлично умеет применять профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий
Третий этап (уровень)	Владеть: навыками организации нормирования и снижения загрязнения окружающей среды	Не владеет навыками организации нормирования и снижения загрязнения окружающей среды	Отлично владеет навыками организации нормирования и снижения загрязнения окружающей среды

ОПК-8 владение знаниями о теоретических основах экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, способностью к использованию теоретических знаний в практической деятельности.

Этап (уровень) освоения компетенц ии	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
Первый этап (уровень)	Знать: основные принципы нормирования вредных воздействий на компоненты окружающей среды	Не знает основные принципы нормирования вредных воздействий на компоненты окружающей среды	Отлично знает основные принципы нормирования вредных воздействий на компоненты окружающей среды.
Второй этап (уровень)	Уметь: оперативно и грамотно принимать решения по снижению	Не умеет оперативно и грамотно принимать решения по снижению	Отлично умеет применять оперативно и грамотно принимать

	антропогенной нагрузки на природные объекты.	антропогенной нагрузки на природные объекты.	решения по снижению антропогенной нагрузки на природные объекты.
Третий этап (уровень)	Владеть: навыками создания и реализации программы и системы экологического мониторинга в зонах антропогенного воздействия	Не владеет навыками создания и реализации программы и системы экологического мониторинга в зонах антропогенного воздействия	Отлично владеет навыками создания и реализации программы и системы экологического мониторинга в зонах антропогенного воздействия

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для зачета: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

для зачета:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов), не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать основы прогнозирования техногенных катастроф и их последствий, планирования мероприятий по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф.	ПК-4 способность прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	Лабораторные работы; тестирование;
	Знать теоретические основы экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.	ПК-8 владение знаниями теоретических основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и	Лабораторные работы; тестирование;

		экологического риска	
	Знать теоретические основы экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска.	ОПК-8 владение знаниями о теоретических основах экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, способностью к использованию теоретических знаний в практической деятельности	Лабораторные работы; тестирование;
2-й этап Умения	Уметь принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий.	ПК-4 способность прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	Лабораторные работы; тестирование;
	Уметь использовать теоретические знания основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.	ПК-8 владение знаниями теоретических основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска	Лабораторные работы; тестирование;
	Уметь использовать теоретические знания в практической деятельности по организации экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска.	ОПК-8 владение знаниями о теоретических основах экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, способностью к использованию теоретических знаний в практической деятельности	Лабораторные работы; тестирование;
3-й этап Владеть навыками	Владеть способностью прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры для снижения уровня опасностей различного вида и их	ПК-4 способность прогнозировать техногенные катастрофы и их последствия, планировать мероприятия по профилактике и ликвидации последствий экологических катастроф, принимать профилактические меры	Лабораторные работы; тестирование;

	последствий.	для снижения уровня опасностей различного вида и их последствий	
	Владеть знаниями теоретических основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска.	ПК-8 владение знаниями теоретических основ экологического мониторинга, экологической экспертизы, экологического менеджмента и аудита, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, основы техногенных систем и экологического риска	Лабораторные работы; тестирование;
	Владеть знаниями о теоретических основах экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, способностью к использованию теоретических знаний в практической деятельности.	ОПК-8 владение знаниями о теоретических основах экологического мониторинга, нормирования и снижения загрязнения окружающей среды, техногенных систем и экологического риска, способностью к использованию теоретических знаний в практической деятельности	Лабораторные работы; тестирование;

4.3. Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

Примерные вопросы для тестирования

1. Учение об антропогенных ландшафтах разработал:
 - а) Н.А. Солнцев;
 - б) Ф.Н. Мильков;
 - в) А.Г. Исаченко.
2. Антропогенная география исследует антропогенно измененные:
 - а) природные комплексы;
 - б) антропогенные ландшафты;
 - в) геотехнические системы;
 - г) компоненты ландшафта.
3. Повышенной динамичностью отличаются антропогенные ландшафты стадии развития:
 - а) ранней;
 - б) средней;
 - в) зрелой. 20
4. Автором первых публикаций в области антропогенной географии является:
 - а) С.В. Калесник;
 - б) Ф.Н. Мильков;
 - в) Дж. П. Марш;
 - г) В.В. Докучаев.

5. Учение о геотехнических системах разработано в:
- а) 1850-60-е гг.;
 - б) 1890-1900-е гг.;
 - в) 1960-70-е гг.;
 - г) 1980-1990-е гг.
6. Блэндовская «пустыня» является примером ... антропогенного ландшафта:
- а) сукцессионного;
 - б) обратимого;
 - в) устойчивого;
 - г) неустойчивого.
8. Факторы формирования антропогенных ландшафтов:
- а) форма государственного устройства;
 - б) урбанизация;
 - в) производительность труда;
 - г) рекреация;
 - д) промышленное производство.
9. Стадии сукцессионных изменений при подсечно-огневой системе земледелия:
- а) пал;
 - б) пар;
 - в) рамень;
 - г) льнище;
 - д) жерденник.
10. Процесс трансформации ландшафтной сферы в результате хозяйственной деятельности:
- а) антропогеогенез;
 - б) техногеогенез;
 - в) аграрногеогенез;
 - г) пирогенез.
11. Процесс трансформации ландшафтной сферы в результате промышленной деятельности или строительных работ:
- а) антропогеогенез;
 - б) техногеогенез;
 - в) аграрногеогенез;
 - г) пирогенез.
12. Процесс трансформации ландшафтной сферы в результате сельскохозяйственной деятельности:
- а) антропогеогенез;
 - б) техногеогенез;
 - в) аграрногеогенез;
 - г) пирогенез.
13. Процесс трансформации ландшафтной сферы в результате выжигания коренных типов растительности:
- а) антропогеогенез; б) техногеогенез;
 - в) аграрногеогенез;
 - г) пирогенез.
14. В классификации антропогенных ландшафтов по целенаправленности их возникновения выделяют:
- а) антропогенные неоландшафты;
 - б) прямые ландшафты;
 - в) техногенные ландшафты;
 - г) сопутствующие ландшафты.
15. В категорию основной, или базисной, техники входят:

- а) добывающая техника;
- б) извлекающая техника;
- в) перерабатывающая техника;
- г) передающая техника;
- д) средообразующая техника;
- е) техника оперативного управления и регулирования;
- ж) средоохранная техника.

Критерии оценки (в баллах):

<i>Процент правильных ответов</i>	<i>До 30</i>	<i>30-50</i>	<i>51-60</i>	<i>61-70</i>	<i>71-80</i>	<i>81-100</i>
<i>Количество баллов за решенный тест</i>	<i>0-4</i>	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>20</i>	<i>25</i>

Лабораторные работы

1. Оценка экологического риска предприятия

Любая производственная система является источником экологического риска.

Экологический риск - вероятность возникновения и масштабы распространения опасных экологических ситуаций.

Наиболее распространенными факторами экологического риска являются образование отходов производства, загрязнения водоемов и атмосферного воздуха вредными веществами.

Существует несколько применяемых на практике методов оценки экологического риска, в частности известен метод суммирования уровней факторов риска, определяемых отношением их количественных характеристик к некоторым удельным параметрам окружающей среды, принимаемых в качестве базовых. Обобщенная формула расчета экологического риска (R_3) методом суммирования уровней факторов риска:

$$R_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \cdot 100(\%),$$

где Y = уровень i -го фактора, изменяющийся в пределах от 0 до 1; n - количество учитываемых факторов риска.

Обычно оцениваются пять комплексных факторов экологического риска: уровень повреждения ландшафта ($Y_{пл}$), уровень энергетического загрязнения ($Y_{эз}$), уровень образования отходов производства ($Y_{оп}$), уровень загрязнения водоемов ($Y_{зв.}$) и уровень загрязнения атмосферного воздуха ($Y_{за.}$).

В общем виде расчет уровней осуществляется по формуле:

$$Y_i = k \frac{X_i}{X_0},$$

где X_i - соответствующий фактор загрязнения (площадь территории, количество отходов, объем воды и т.д.);

X_0 - константы, обозначающие удельные величины соответствующих

факторов (для удобства обычно раны 1000 га, 1000т, 1000 м и т.д.); k - коэффициент корреляции.

Таким образом, формула для расчета экологического риска принимает вид:

$$R_3 = 0,02(\alpha S_n + \beta S_3 + \gamma M_0 + \delta V_b + \sigma A_0)(\%),$$

где S_n - площадь ландшафтных повреждений (карьеры; шахты; места складирования сырья, материалов, отходов; площадки транспортных и инженерных коммуникаций и т.д.), га;

S_0 - площадь территорий, подверженных экологическому воздействию (повышенный уровень шума, инфразвука, электромагнитных и других излучений), га;

- среднемесячное количество не утилизируемых отходов, т;

V_b - среднемесячный объем воды, загрязненность которой выше ПДК, м³;

A_0 - среднемесячная масса вредных веществ выбрасываемых в атмосферу, т.

Корреляционные коэффициенты определяются по следующей схеме:

- $\alpha \leq 1$, если глубина повреждения ландшафта не превышает 1 м, а при большей глубине $\alpha = 1 + 0,1$ на каждый последующий метр глубины повреждения;

- $\beta \leq 1$, если энергетическое загрязнение среды не превышает предельно допустимый уровень (ПДУ), а в случаях превышения $\beta = 1 + 0,1$ за каждый 1 % превышения ПДУ;

- γ, δ, σ равны 2, если загрязняющие вещества относятся к первому классу опасности; 1,5 - ко второму; 1,0 - к третьему и 0,5 - к четвертому.

Значения экологического риска могут изменяться от 0 до 100 % и более [10].

Варианты ранжированных предприятий по величине экологического риска представлены в таблице 1.

Таблица 1. Экологическая характеристика производства по величине экологического риска

Степень экологической опасности	Величина экологического риска, %
Безопасное	1 и менее
Относительно безопасное	1-5
Опасное	5-25
Особо опасное	25-50
Чрезвычайно опасное	Более 50

Задача

Используя данные в приведенной таблице 2, оцените экологический риск предприятия по вариантам. К какому классу по степени экологической опасности оно относится?

Таблица 2.2 - Экологический риск предприятия

	Показатель
--	------------

Вариант	Площадь ландшафтных повреждений, га	Глубина ландшафтных повреждений, га	Площадь энергетического загрязнения	Превышений ПДУ, %	Среднемесячное количество неутилизуемых отходов, т	Класс опасности отходов	Среднемесячный объем воды с загрязнением выше ПДК, м	Среднемесячная масса вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	90	1,4	88	3	10	2	1300	130
2	95	1,3	76	4	4,5	3	2300	230
3	100	2,5	45	5	7,6	4	5700	210
4	105	2,3	88	6	8,2	2	2700	170
5	86	1,2	34	7	20	4	200	150
6	79	1,7	36	6	11,6	2	300	190
7	23	2,4	76	3	16,5	3	4200	120
8	56	2,2	23	2	14,3	3	3500	150
9	89	2,1	74	6	18,5	2	1600	140
10	23	2,7	81	7	20	4	700	170
11	76	2,2	104	3	3,7	1	4800	180
12	23	1,9	123	5	18,1	2	2400	200
13	46	1,8	165	4	19,5	3	2600	130
14	87	1,5	143	8	3,2	1	2900	230
15	54	1,7	34	10	6,8	4	3900	130
16	37	2,2	82	2	8,4	4	4500	140
17	89	2,7	63	4	9,2	3	5000	160
18	123	1,2	37	6	12,4	4	1800	180
19	65	2,1	84	7	11,8	3	1600	200
20	34	1,6	58	3	5,3	2	2900	210
21	145	1,5	26	8	6,8	2	3200	150
22	167	1,1	98	1	12,8	4	4100	180

23	32	1,3	84	10	20	4	3600	190
24	167	1,3	140	3	6,1	2	2800	140
25	76	1,7	133	7	5,8	3	1200	170

2 Методы расчета характеристик риска для здоровья

Центральной характеристикой в расчетах характеристик риска на практике выступает доза, определяемая как усредненное количество химического вещества, попадающего в организм человека (в мг на 1 кг массы тела в среднем за день), по следующей формуле:

$$I = \frac{(p \cdot CR \cdot EFD)}{(BW \cdot AT)}, \quad (1)$$

где p – концентрация химического вещества в среде;

CR – объем носителя химического вещества, контактирующего с организмом человека в течение дня;

EFD – продолжительность периода контакта, обычно рассчитываемая с использованием двух характеристик;

EF – частоты воздействия, дней/год;

ED – продолжительность воздействия, лет;

BW – масса тела, кг;

AT – продолжительность усредненного периода, дней.

В практических расчетах в выражении (1) учитываются специфические особенности контакта человеческого организма с загрязненной средой.

Для краткосрочного, но интенсивного контакта (в смысле значительной концентрации вещества в среде) выражение (1) может быть приведено к следующему виду:

$$I = \frac{p \cdot CR}{BW}, \quad (2)$$

В частности, для оценок дозы химического вещества, попавшего в организм человека при дыхании в загрязненном воздухе, используется следующее выражение:

$$I = \frac{p_a \cdot IR \cdot ET}{BW}, \quad (3)$$

где p_a – средняя концентрация загрязнителя в воздухе, мг/м³;

IR – объем вдыхаемого воздуха в течение часа, м³/ч;

ET – продолжительность контакта, ч.

В случае поглощения загрязненной воды формула (1) преобразовывается следующим образом [7]:

$$I = \frac{(CW \cdot IR \cdot ET \cdot ED)}{BW \cdot AT}, \quad (4)$$

где CW – концентрация загрязнителя в воде, мг/л;

IR – количество воды, выпиваемой в течение дня, л/день.

В случае кожного контакта с загрязненной водой (например, при купании) используют следующую модификацию выражения (1):

$$AD \text{ (adsorbed dose)} = \frac{CW \cdot SA \cdot PC \cdot ET \cdot EF \cdot ED \cdot CF}{BW \cdot AT}, \quad (5)$$

где SA – площадь поверхности кожи, контактирующая с водой, см²;

PC – специфическая характеристика, определяющая проницаемость кожи для данного химического элемента, см/ч;

CF – переводной коэффициент, 1 л/1000 см³.

Практически аналогичное выражение используется для оценок дозы загрязнений, попавших в организм человека при контакте с загрязненной почвой [10].

Для оценок дозы химического вещества, попавшего в организм человека при контакте с загрязненным воздухом, используется выражение, аналогичное (4):

$$I = \frac{(CW \cdot IR \cdot ET \cdot ED)}{BW \cdot AT}, \quad (6)$$

где CW – концентрация загрязнителя в воздухе, мг/м³;

IR – количество воздуха, вдыхаемое в течение дня, м³/ч;

ET – время воздействия, ч/день.

Для оценки количества загрязнителя, попавшего в организм человека вместе с пищей (например, с загрязненной рыбой), выражение (3.1) приводится к такому виду:

$$I = \frac{(CF \cdot IR \cdot EI \cdot ET \cdot ED)}{BW \cdot AT}, \quad (7)$$

где CF – концентрация загрязнителя в рыбе, мг/кг;

IR – усредненное количество рыбы, съедаемое за один прием пищи (кг/раз);

EI – специфическая безразмерная характеристика, определяющая особенности восприятия организмом химического вещества из поглощаемой пищи (рыбы);

EF – частота приема пищи, раз/год.

Аналогичные выражения применяются при оценке доз, полученных при употреблении в пищу загрязненного мяса, фруктов, и в случаях других разнообразных контактов загрязнителей с организмом человека.

При массовых контактах людей с загрязненной средой для оценок усредненной дозы в практических расчетах используют усредненные характеристики контактов. В частности, в случае употребления загрязненной питьевой воды IR – 2 л для взрослого населения. При оценке величины дозы, полученной во время купания, частота купания принимается равной 7 раз в год (усредненная величина по США); поверхность кожи, контактирующая с водой, возрастает от 0,7 м² у детей до шести лет до 1,9 м² у взрослых; усредненное количество рыбы, съедаемое за один прием, принято равным 0,113 кг; средняя масса человека принимается равной 70 кг, средняя продолжительность жизни – 70 лет и т.д.

Все эти средние цифры приняты для упрощения процедуры расчета характеристик риска, которые на практике определяются по упрощенным формулам для канцерогенных и неканцерогенных эффектов. Например, при небольших дозах воздействия загрязнителя оценка риска заболеть раком в течение 70 лет при сохранении существующей практики контакта с загрязненной средой является линейной аппроксимацией рассмотренной выше зависимости «доза - эффект», где доза оценивается по одной из формул, соответствующей условиям контакта, а пропорциональность для каждого загрязнителя выражается специфическим коэффициентом SF.

Информация о значениях R_fD и SF приводится в компьютерной базе данных US, EPA – IRIS, таблицах HEAST, ряде изданий US, EPA, публикациях Калифорнийского агентства по охране окружающей среды, а также в некоторых банках данных, в частности SARET-base.

Индекс риска для неканцерогенных эффектов оценивается согласно выражению:

$$HI = \frac{E}{R_f D}, \quad (8)$$

где E – аналог дозы, рассчитанной для неканцерогенных загрязнителей.

2.1 Примеры решения задач

Задача 1

Оценим вероятность возникновения злокачественного новообразования у человека при потреблении зараженной бензолом воды из частного колодца (известно, что воздействие бензола может привести к заболеванию лейкемией). Примем следующие исходные данные: концентрация бензола в воде колодца 0,000875 мг/л; вес человека, подвергающегося воздействию, 70 кг; частота потребления – 70 дней в году; продолжительность воздействия 70 лет (т.е. всю жизнь). Таким образом, это хроническое воздействие. В течение всего времени человек потребляет ежедневно 2 л воды (по мнению гигиенистов, это средняя норма потребления воды для взрослого населения). Период усреднения равен 70 годам при частоте 365 дней за год.

Решение:

$$I = CDI \frac{0,000875 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{день}} \right) \cdot 70 \left(\frac{\text{день}}{\text{год}} \right) \cdot 70 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 70 (\text{год}) \cdot 365 \frac{\text{день}}{\text{год}}} = 4,8 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right), \quad (9)$$

Теперь рассчитаем собственно риск, используя для бензола условное значение slope factor, т.е. SF=0,029 (мг/кг в день)⁻¹. Воспользуемся для этих целей формулой:

$$Risk = CDI \cdot SF, \quad (9)$$

$$Risk = P(I) = 4,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2,9 \cdot 10^{-2} = 14 \cdot 10^{-8}, \quad (10)$$

Таким образом, шанс заболеть лейкемией при данном режиме потребления загрязненной бензолом воды имеется примерно у 140 человек из миллиарда.

Задача 2

Рассчитаем теперь риск от неканцерогенного воздействия загрязненной воды из колодца, содержащей фенол (опасен для почек и печени), нитробензол (опасен для многих органов и систем) и цианид (влияет на функцию щитовидной железы) в концентрациях 3,5; 0,0035 и 0,0105 мг/л соответственно. Для этого по формуле (4) рассчитаем дневные дозы хронического воздействия, используя остальные исходные данные из примера 1, при ежедневном потреблении воды, т.е. 365 дней в году, и обозначим их через E:

$$E_{\text{фенол}} = \frac{3,5 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{день}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{день}}{\text{год}} \right) \cdot 70 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 70 (\text{год}) \cdot 365 \left(\frac{\text{день}}{\text{год}} \right)} = 0,1 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right), \quad (11)$$

$$E_{\text{нитробензол}} = \frac{0,0035 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{день}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{день}}{\text{год}} \right) \cdot 70 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 70 (\text{год}) \cdot 365 (\text{день} - \text{год})} = 0,0001 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right), \quad (12)$$

$$E_{\text{цианид}} = \frac{0,0105 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{день}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{день}}{\text{год}} \right) \cdot 70 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 70 (\text{год}) \cdot 365 \left(\frac{\text{день}}{\text{год}} \right)} = 0,0003 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right), \quad (13)$$

По формуле (3.8) рассчитаем коэффициенты вреда для каждого загрязнителя, используя условные значения $R_f D = D_1$, равные 0,6 (мг/кг в день) для цианида (HI в данном случае будет обозначать отношение к пороговому значению и, следовательно, относительный вред):

$$HI_{\text{фенол}} = \frac{0,1 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right)}{0,6 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right)} = 0,167, \quad (14)$$

$$HI_{\text{нитробензол}} = \frac{0,0001 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right)}{0,0005 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right)} = 0,2, \quad (15)$$

$$HI_{\text{цианид}} = \frac{0,0003 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right)}{0,002 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{день} \right)} = 0,015, \quad (16)$$

По выражению

$$Risk_{\text{о}} = \sum_{i=1}^n Risk_i \quad (17)$$

рассчитаем общий индекс вреда от потребления загрязненной воды из данного колодца как сумму коэффициентов, рассчитанных нами для каждого из присутствующих и оказывающих неканцерогенное воздействие веществ:

$$HI_{\text{общ}} = 0,167 + 0,2 + 0,015 = 0,382, \quad (18)$$

Отсюда можно сделать вывод, что ущерб здоровью в данном случае нет, поскольку каждый из коэффициентов вреда в отдельности и индекс вреда вообще не превосходит единицы.

2.2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 3

Рассчитать индекс вреда от употребления в пищу рыбы, загрязненной фенолом. Примем концентрацию фенола в рыбе равной CF (мг/кг). Доля загрязненного продукта в общем объеме потребляемой рыбы пусть будет FI .

Среднее потребление рыбы в пищу, по мнению гигиенистов, 6,5 (г/день) при частоте воздействия 365 (дней/год). Продолжительность воздействия будем считать равной 70 (год), вес тела 70 (кг). Время усреднения 70 (год) 365 (дней/год).

Таблица 1. Исходные данные для решения задачи 57

Вариант	Концентрация фенола в рыбе CF, мг/кг	Доля загрязненного продукта в общем объеме потребляемой рыбы
1	2	3
1	0,107	0,8
2	0,103	0,6
3	0,113	0,5
4	0,115	0,4
5	0,105	0,7
6	0,106	0,9
7	0,111	0,8
8	0,109	0,8
9	0,106	0,6
10	0,105	0,4
11	0,104	0,7
12	0,112	0,9
13	0,107	0,8
14	0,103	0,8
15	0,113	0,8
16	0,115	0,6
17	0,105	0,3
18	0,107	0,5
19	0,103	0,6
20	0,113	0,8
21	0,115	0,7
22	0,105	0,8
23	0,113	0,6
24	0,104	0,4
25	0,101	0,5

3 Оценка риска угрозы здоровью при воздействии пороговых токсикантов

Негативное воздействие порогового токсиканта характеризуется значением той пороговой дозы (или мощности дозы - величиной дозы, отнесенной к некоторому интервалу времени), начиная с которой появляются неблагоприятные последствия [10].

Практика исследований зависимости между значением дозы токсиканта и его действием (эффектом) показала, что возможно несколько подходов к установлению величины пороговой мощности дозы. Соответственно возможно использование следующих значений, выявляемых опытным путем (как правило, по результатам экспериментов с животными):

H_{NOEL} -наибольшая пороговая мощность дозы, которая не приводит к появлению каких бы то ни было статистически значимых биологических эффектов (NOEL - «no – observed – effectj level», т. е. уровень, при котором никакие эффекты не наблюдаются);

H_{NOAEL} - наибольшая мощность дозы, которая не приводит к появлению статистически значимых неблагоприятных биологических эффектов (NOAEL - «no –observed – adverse – effecti level», т. е. уровень, при котором не наблюдаются неблагоприятные эффекты);

H_{LOEL} - наименьшая мощность дозы, которая приводит к появлению каких бы то ни было статистически значимых биологических эффектов (LOEL - «lowest – observed – effect level»), т. е. низший уровень, при котором наблюдаются эффекты);

H_{LOAEL} - наименьшая мощность дозы, которая приводит к появлению статистически значимых неблагоприятных биологических эффектов (LOAEL - «lowest – observed –adverse – effect level»), т. е. низший уровень, при котором наблюдаются неблагоприятные эффекты).

Все четыре величины измеряются количеством загрязнителя, поступающего в единицу времени в организм человека или животного и нормированного на единицу массы тела. Обычно количество токсиканта измеряется в миллиграммах, единицей времени служит день (сутки), а единицей массы тела - килограмм; следовательно, размерность перечисленных величин - мг/(кг.сут).

Оптимальное согласование экспериментальных данных и результатов наблюдений над группами риска означает, что имеется достаточная информация по всем перечисленным выше факторам. Однако на практике такое согласование обеспечить не удастся. Поэтому приходится вводить коэффициенты неопределенности, которые играют роль своеобразного «запаса надежности» в процессе вычисления мощности дозы. Обычно используют три коэффициента: F_1 , F_2 и F_3 .

Коэффициент F_1 используется для учета возможных межвидовых вариаций в проявлении эффектов от одной и той же мощности дозы, т. е. он характеризует межвидовые различия в чувствительности к токсиканту. Если биокинетические особенности токсиканта и механизмы его токсичности у экспериментальных животных и людей различаются сильно, то коэффициенту приписывают максимальное значение, равное 10. Если биокинетика и механизмы токсичности у экспериментальных животных и людей схожи, то $F_1=1$.

Коэффициент F_2 ответствен за внутривидовые различия в действии токсиканта, которые обусловлены индивидуальной чувствительностью. Его значения могут меняться от 1 до 10, также обычно полагают $F_2 = 1$ (если существенные индивидуальные различия в чувствительности к данному токсиканту не выявлены).

Коэффициент повышает надежность расчетов, связанных с переходом от сравнительно кратковременных наблюдения к оценкам эффектов на значительно больший период времени. Значение этого коэффициента может варьировать от 10 до 100. Когда требуется оценить H_{NOEL} или H_{NOAEL} для всей жизни животного или человека, а имеются данные только по кратковременным экспериментам, то полагают $F_3=10$. Для оценки же H_{LOEL} или H_{LOAEL} при тех же условиях используется максимальное значение $F_3=100$.

Введение коэффициентов неопределенности F_1 , F_2 и F_3 существенно снижает значение пороговой мощности дозы, что обусловлено влиянием ряда неопределенностей. Максимальное значение произведения коэффициентов $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 10 \cdot 100 \cdot 1000 = 10000$.

Коэффициенты неопределенности выполняют роль факторов перестраховки, так как в расчеты риска будут входить намеренно заниженные значения пороговой мощности дозы.

Скорректированное значение пороговой мощности определяется по формуле

$$H_D = \frac{H_{D(i)}}{F_1 F_2 F_3}, \quad (1)$$

где $H_{D(i)}$ - любое из представленных выше значений пороговой мощности дозы;

H_D - ее скорректированное значение;

$F_1 F_2 F_3$ – коэффициенты неопределенности.

Значения пороговой мощности дозы H_D при поступлении некоторых токсикантов с воздухом, водой и пищей приведены (в порядке убывания пороговой мощности дозы) в таблице 1 – 3

Таблица 1 – Значение пороговой мощности дозы H_D при поступлении токсикантов с воздухом [10]

Токсиканты, поступающие с воздухом	H_D , мг/кг ·сут
Бензол	$9 \cdot 10^{-3}$
Марганец	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Ртуть (металл)	$8,6 \cdot 10^{-5}$
Бериллий	$5,8 \cdot 10^{-6}$
Тетраэтилсвинец	$5,7 \cdot 10^{-6}$

При решении задач, в которых рассматривается вдыхание токсиканта, среднесуточное его поступление m , отнесенное к 1 кг массы тела человека, рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{C * V * f * T_p}{P * T}, \quad (2)$$

где C - концентрация токсиканта в воздухе, мг/м³;

V – объем воздуха, поступающего в легкие, м³/сут (принимая, что взрослый человек вдыхает 20 м³ воздуха ежедневно);

f - количество дней в году, в течение которых происходит воздействие токсиканта;

T_p - количество лет, в течение которых происходит воздействие токсиканта;

P - средняя масса тела взрослого человека принимаемая равной 70 кг;

T - усредненное время воздействия токсиканта (или средняя продолжительность возможного воздействия токсиканта за время жизни человека), принимаемое равным 30 годам (10 950 сут).

Таблица 2 – Значение пороговой мощности дозы H_D , при поступлении токсикантов с водой и пищей

Токсиканты, поступающие с водой и пищей	H_D , мг/кг ·сут	Токсиканты, поступающие с водой и пищей	H_D , мг/кг ·сут
Нитраты	1,6	Селен	$5 \cdot 10^{-3}$
Хром (Cr ³⁺)	1,0	Молибден	$5 \cdot 10^{-3}$
Цинк	0,3	Серебро	$5 \cdot 10^{-3}$
Бирий	0,2	Хром (VI)	$5 \cdot 10^{-3}$
Бор	0,2	Кадмий	$5 \cdot 10^{-4}$
Марганец	0,14	Сурьма	$5 \cdot 10^{-4}$
Хлор	0,1	Мышьяк	$5 \cdot 10^{-4}$

Медь	0,04	Ртуть (хлорид)	$5 \cdot 10^{-4}$
Никель	0,02	Таллий (хлорид, карбонат)	$5 \cdot 10^{-5}$

Показатель токсичности вещества вычисляют по формуле Габера.
Для токсиканта, поступающего с воздухом, эта формула имеет вид:

$$K_{tox} = \frac{C * V * t}{P}, \quad (3)$$

где С - концентрация токсиканта, мг/м³;
V - объем легочной вентиляции, м³/сут;
t - время воздействия токсиканта, сут;
P - масса тела, кг.

Таблица 3 – Значение пороговой мощности дозы H_D при поступлении токсикантов с водой

Токсикант, поступающий с водой	H_D , мг/кг сут.
Этиленгликоль	2
Ацетон	0,9
Нефтепродукты	0,6
Фенол	0,6
Метанол	0,5
Формальдегид	0,2
Пентахлорфенол C_6Cl_5OH	$5 \cdot 10^{-2}$
Бензол	$4 \cdot 10^{-3}$
Винилхлорид	$3 \cdot 10^{-3}$
Нитробензол $C_6H_5NO_2$	$5 \cdot 10^{-4}$
ДДТ	$5 \cdot 10^{-4}$
Метилртуть $Hg(CH_3)_2$	$1 \cdot 10^{-4}$
Тетраэтилсвинец	$1,2 \cdot 10^{-7}$

При решении задач, связанных с потреблением питьевой воды, среднесуточное поступление токсиканта с водой на 1 кг массы тела человека m определяется по несколько измененной формуле:

$$m = \frac{C * v * f * T_p}{P * T}, \quad (4)$$

где С - концентрация токсиканта в питьевой воде, мг/л;
v – скорость поступления воды в организм человека, л/сут (принимается, что взрослый человек выпивает ежедневно 2 литра воды);
f - количество дней в году, в течение которых происходит воздействие токсиканта;
 T_p - количество лет, в течение которых потребляется рассматриваемая питьевая вода.

Величины P и T -такие же, как и в формуле для поступления токсиканта с воздухом.

Размерность величины m - мг/л · сут.

Если решаются задачи, связанные с потреблением продуктов питания, то среднесуточное поступление токсиканта с пищей m , приведенное к 1 кг массы тела человека, вычисляют по формуле:

$$m = \frac{C * M * T_p}{P * T}, \quad (5)$$

где C - концентрация токсиканта в рассматриваемом пищевом продукте;

M - количество продукта, потребляемого за один год, кг;

T_p - количество лет, в течение которых потребляется рассматриваемый продукт.

Величины P и T - такие же, как и в формуле для поступления токсиканта с воздухом или водой.

Величина m имеет размерность - мг/кг · сут.

После того, как вычислено среднесуточное поступление токсиканта, отнесенное к 1 кг массы тела, рассчитывается величина, называемая индексом опасности.

Индекс опасности HQ (от слов Hazard Quotient) определяют по формуле

$$HQ = \frac{m}{H_D}, \quad (6)$$

где H_D - пороговая мощность дозы, значения которой приведены в таблице 1 -3.

Если $HQ < 1$, то опасности нет, риска угрозы здоровью нет.

Если же $HQ > 1$, то существует опасность отравления, которая тем больше, чем больше индекс HQ превышает единицу.

Если в воздухе, питьевой воде или в пище содержатся несколько токсикантов, то полный индекс опасности HQ_t равен сумме индексов опасности отдельных токсикантов:

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots + HQ_n, \quad (7)$$

Если суммарный индекс опасности $HQ_t < 1$, то опасности нет, риск угрозы здоровью отсутствует.

1 Примеры решения задач

Задача 1

В одном из колодцев обнаружен тяжелый металл - шестивалентный хром, причем его содержание в воде этого колодца в десять раз превысило значение ПДК хрома (VI) для питьевой воды (0,005 мг/л). Данным колодцем пользуются в течение 6 лет. Рассчитать индивидуальный риск угрозы здоровью.

$C = 10 \text{ ПДК} = 0,05 \text{ мг/л}$,

$v = 2 \text{ л/сут}$,

$T_p = 6 \text{ лет} = 2190 \text{ сут}$,

$P = 70 \text{ кг}$,

$T = 30 \text{ лет} = 10950 \text{ сут}$,

$H_D = 5 \cdot 10^3 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут}$.

Решение:

Среднесуточное поступление токсиканта с водой на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot T_p}{PT} = \frac{0,5 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{сут}} \right) \cdot 2190 (\text{сут})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950} = 2,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мг}}{\text{кг}} \cdot \text{сут.}, \quad (8)$$

Индекс опасности:

$$HQ = \frac{m}{H_D} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут.}} \right)} = 0,58 < 1, \quad (9)$$

Опасности отравления нет, риска угрозы здоровью нет.

Задача 2

В воду некоторого водоема попала ртуть, в результате чего содержание этого элемента в тканях рыбы составляет 10 мг/кг. В течение двух лет в этом водоеме рыбак любитель ловит рыбу, употребляет ее в пищу. За эти два года он ел рыбу 80 раз, причем за один раз съедал в среднем 150 г. Пороговая мощность дозы ртути (в виде метилртути) при попадании в организм с пищей составляет $1 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·сут. Вычислить риск угрозы здоровью.

$C = 10$ мг/кг,

$m_p = 150$ г,

$f = 40$ раз в год = 40 (год⁻¹),

$T_p = 2$ года,

$P = 70$ кг,

$T = 10950$ сут,

$H_D = 1 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·сут.

Решение:

Значение ПДК ртути в рыбе равно 0,5 мг/кг, следовательно, в рассматриваемом случае содержание токсиканта превышено в 20 раз. Среднесуточное поступление токсиканта с пищей на 1 кг массы тела человека (мощность дозы):

$$m = \frac{C \cdot m_p \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{10 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \right) \cdot 0,15 (\text{кг}) \cdot 80 (\text{год}^{-1}) \cdot 2 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (10)$$

Индекс опасности:

$$HQ = \frac{m}{H_D} = \frac{1,6 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{1 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 1,6 > 1, \quad (11)$$

Опасность отравления и риск угрозы здоровью присутствуют.

Задача 3

В воде некоторого водохранилища обнаружен фенол с концентрацией, равной 3 мг/л. Водоохранилище является источником питьевого водоснабжения. Рассчитать риск угрозы здоровью человека, пьющего такую воду в течение трех лет. Учесть, что ежегодно этот

человек уезжает из этой местности в отпуск, в котором проводит в среднем 30 дней. Пороговая мощность дозы фенола при попадании в организм с водой составляет 0,6 мг/кг·сут.

$$\begin{aligned} C &= 3 \text{ мг/л}, \\ v &= 2 \text{ л/сут}, \\ f &= 335 \text{ сут/год}, \\ T_p &= 3 \text{ года}, \\ P &= 70 \text{ кг}, \\ \Gamma &= 70 - 365 = 10950 \text{ дней}, \\ H_D &= 0,6 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут}. \end{aligned}$$

Решение:

Среднесуточное поступление токсиканта с водой на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot \Gamma} = \frac{3 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 (\text{л/сут}) \cdot 335 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 3 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = 0,0079 \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (12)$$

Индекс опасности:

$$HQ = \frac{m}{H_D} = \frac{0,0079 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{1 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,013 \ll 1, \quad (13)$$

Опасности нет.

Задача 4

Установлено, что в некоторой местности оказались загрязненными питьевая вода и выращенные здесь овощи. В воде присутствуют нефтепродукты, их содержание равно 5 мг/л, а в овощах - тетраэтилсвинец с содержанием 5 мкг/кг. Всего овощей в России потребляется в среднем 94 кг на душу населения в год. Человек выпивает в среднем 2 л воды в сутки.

Рассчитать индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек подвергается воздействию указанных токсикантов в течение трех месяцев. Пороговая мощность дозы нефтепродуктов при попадании в организм с водой составляет 0,6 мг/кг сут, а пороговая мощность дозы тетраэтилсвинца при попадании в организм с пищей составляет $1,2 \cdot 10^{-7}$ мг/кг сут.

Концентрация нефтепродуктов в воде $C_H = 5$ мг/л.

Концентрация тетраэтилсвинца в овощах $C_T = 5$ мкг/кг = 0,005 мг/кг.

$T_p = 3$ мес. = 0,25 года,

$v = 2$ л/сут,

$M_{\text{воды}} = 2 \cdot 365 \cdot 0,25 = 182,5$ л,

$M_{\text{ов}} = 0,25 \cdot 94 \text{ кг} = 23,5$ кг,

$P = 70$ кг,

$\Gamma = 70 \cdot 365 = 10950$ сут,

$H_D (H) = 0,6$ мг/кг·сут,

$$H_{D(T)} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ мг/кг} \cdot \text{сут.}$$

Решение:

Среднесуточное поступление нефтепродуктов с водой на 1 кг массы тела человека:

$$m_H = \frac{C_H \cdot M_{\text{воды}}}{PT} = \frac{5 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 182,5(\text{л})}{70(\text{кг}) \cdot 10950(\text{сут})} = \frac{912,5(\text{мг})}{766500(\text{кг} \cdot \text{сут})} = 0,0012 \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (14)$$

Индекс опасности:

$$HQ_H = \frac{m_H}{H_{D,H}} = \frac{0,0012 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{0,6 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,003, \quad (15)$$

Среднесуточное поступление тетраэтилсвинца с пищей (с овощами) на 1 кг массы тела человека:

$$m_T = \frac{C_T \cdot M_{\text{ов}}}{PT} = \frac{0,005 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \right) \cdot 23,5(\text{кг})}{70(\text{кг}) \cdot 10950(\text{сут})} = \frac{0,12(\text{мг})}{766500(\text{кг} \cdot \text{сут})} = 1,6 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (16)$$

Индекс опасности:

$$HQ_T = \frac{m_T}{H_{D,T}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{1,2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 1,333, \quad (17)$$

Суммарный индекс опасности:

$$HQ_{\Sigma} = HQ_H + HQ_T = 0,003 + 1,333 = 1,336 > 1, \quad (18)$$

Опасность существует, риск угрозы здоровью обусловлен присутствием тетраэтилсвинца в овощах.

Задача 5

Считается, что в течение года житель России съедает в среднем 130,8 кг хлебопродуктов. Предположим, что в хлебе продуктах обнаружены нитраты с содержанием, равны 37 мг/кг. Рассчитать индивидуальный риск угрозы здоровью, если такими продуктами человек питается в течение одного года. Пороговая мощность дозы нитратов в пищевых продуктах составляет 1,6 мг/кгсут.

$$C = 370 \text{ мг/кг,}$$

$$M = 130,8 \text{ кг/год,}$$

$$T_p = 1 \text{ год,}$$

$$P = 70 \text{ кг,}$$

$$T = 10950 \text{ сут,}$$

$$H_D = 1,6 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут.}$$

Решение:

Среднесуточное поступление токсиканта с пищей на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{370 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \right) \cdot 130,8 (\text{кг} / \text{год}) \cdot 1 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = \frac{48396 (\text{мг})}{766500 (\text{кг} \cdot \text{сут})} = 0,0063 \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (19)$$

Индекс опасности:

$$HQ = \frac{m}{H_D} = \frac{0,0063 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{1,6 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,039 < 1, \quad (20)$$

Опасности отравления нет, риск угрозы здоровью отсутствует.

Задача 6

Предельно допустимая концентрация пестицида ДДТ в сахаре составляет 0,005 мг/кг. Считается, что житель России съедает в год в среднем 19,7 кг сахара. Рассчитать риск угрозы здоровью человека, употребляющего в течение 5 лет сахара в котором содержание ДДТ превышает его ПДК в 3раза. Пороговая мощность дозы ДДТ при поступлении с пищей равна $5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг·сут.

$$C = 3$$

$$0,005 \text{ мг/кг} = 0,015 \text{ мг/кг},$$

$$M = 19,7 \text{ кг/год},$$

$$T_p = 5 \text{ лет},$$

$$H_D = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг} \cdot \text{сут}.$$

$$P = 70 \text{ кг},$$

$$T = 30 \text{ лет}.$$

Решение:

Среднесуточное поступление ДДТ с сахаром на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,015 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \right) \cdot 19,7 (\text{кг} / \text{год}) \cdot 5 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = \frac{1,48 (\text{мг})}{766500 (\text{кг} \cdot \text{сут})} = 1,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \quad (21)$$

Индекс опасности:

$$HQ = \frac{m}{H_D} = \frac{1,9 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{5 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,0039 \ll 1, \quad (22)$$

Риска угрозы здоровью нет.

Задача 7

В атмосферном воздухе обнаружены газообразные токсиканты - ацетон, фенол и формальдегид, причем их содержание превысило принятые в Российской Федерации значения среднесуточной предельно допустимой концентрации (СПДК): у ацетона и фенола - в 2 раза, а у формальдегида - в 3 раза. Какой индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек будет дышать таким воздухом в течение 7 лет? На протяжении каждого года воздействие токсиканта длится в среднем 330 дней. Значения пороговой мощности дозы при поступлении воздухом составляют: у ацетона - 0,9 мг/кг·сут, у фенола 0,004 мг/кг сут, у формальдегида - 0,2 мг/кг сут.

$$C_{\text{ац}} = 2 \text{ СПДК} = 2 \cdot 0,35 \text{ мг/м}^3 = 0,7 \text{ мг/м}^3,$$

$$C_{\text{фен}} = 2 \text{ СПДК} = 2 \cdot 0,003 \text{ мг/м}^3 = 0,006 \text{ мг/м}^3,$$

$$C_{\text{форм}} = 3 \text{ СПДК} = 3 \cdot 0,003 \text{ мг/м}^3 = 0,009 \text{ мг/м}^3,$$

$$V = 20 \text{ м}^3/\text{сут},$$

$$f = 330 \text{ сут/год},$$

$$T_p = 7 \text{ лет},$$

$$H_{D(\text{ац})} = 0,9 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут},$$

$$H_{D(\text{фен})} = 0,004 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут},$$

$$H_{D(\text{форм})} = 0,2 \text{ мг/кг} \cdot \text{сут},$$

$$P = 70 \text{ кг},$$

$$T = 30 \text{ лет}.$$

Решение:

Среднесуточное поступление ацетона с воздухом на 1 кг массы тела человека:

$$m_{\text{ац}} = \frac{C_{\text{ац}} \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,7 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 20 \left(\text{м}^3 \cdot \text{сут} \right) \cdot 330 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 7 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = 0,042 \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (23)$$

Индекс опасности:

$$HQ_{\text{возд}} = \frac{m_{\text{ац}}}{H_{D(\text{ац})}} = \frac{0,042 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{0,9 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,047, \quad (24)$$

Среднесуточное поступление фенола с воздухом на 1 кг массы тела человека:

$$m_{\text{фен}} = \frac{C_{\text{фен}} \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,006 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 20 \left(\text{м}^3 / \text{сут} \right) \cdot 330 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 7 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = 3,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \quad (25)$$

Индекс опасности:

$$HQ_{\text{фен}} = \frac{m_{\text{фен}}}{H_{D(\text{фен})}} = \frac{3,6 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{0,004 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,09, \quad (26)$$

Среднесуточное поступление формальдегида с воздухом на 1 кг массы тела человека:

$$m_{\text{форм}} = \frac{C_{\text{форм}} \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,009 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 20 (\text{м}^3 / \text{сут}) \cdot 330 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 7 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 10950 (\text{сут})} = 5,4 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \quad (27)$$

Индекс опасности:

$$HQ_{\text{форм}} = \frac{m_{\text{форм}}}{H_{D(\text{форм})}} = \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)}{0,2 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)} = 0,0027, \quad (28)$$

Суммарный индекс опасности:

$$HQ = HQ_{\text{ад}} + HQ_{\text{фен}} + HQ_{\text{форм}} = 0,047 + 0,09 + 0,0027 = 0,14 < 1, \quad (29)$$

Риска угрозы здоровью нет.

2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 8

За год взрослый житель России съедает в среднем 151 яйцо. Рассчитать риск угрозы здоровью при употреблении в пищу яиц в течение года, если яйца содержат хлор со средним содержанием 30 мг в одном яйце. Пороговая мощность дозы хлора в пищевых продуктах составляет 0,1 мг/кг сут.

Задача 9

За год взрослый житель России съедает в среднем 124 кг картофеля. Рассчитать риск угрозы здоровью при употреблении в пищу картофеля в течение полугода, если он содержит тяжелый металл - кадмий со средним содержанием, равным ПДК этого металла в картофеле и овощах, которая равна 0,03 мг/кг. Пороговая мощность дозы кадмия в пищевых продуктах составляет $H_D = 5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг сут.

Задача 10

Анализ проб яиц показал, что содержание меди и цинка в них в три раза превышает значения ПДК этих металлов в яйцах, которые равны соответственно 3 мг/кг и 50 мг/кг. Имеется ли риск угрозы здоровью, если такие яйца будут употребляться в пищу в течение полугода? Значения пороговой мощности доз меди и цинка при поступлении с пищей равны 0,04 мг/кг сут 0,3 мг/кг сут соответственно.

Задача 11

Рассчитать индивидуальный риск угрозы здоровью в результате вдыхания паров ртути с концентрацией, равной 10 значениям ПДК этого элемента в воздухе. Считать, что пары ртути находятся в некотором помещении при неизменной концентрации и что человек вдыхает пары ртути в течение 12 часов ежедневно на протяжении одного года, но на один месяц он уезжает в отпуск. Пороговая мощность дозы ртути H_D при ее поступлении с воздухом составляет $8,6 \cdot 10^{-5}$ мг/кг сут. Значение ПДК ртути в воздухе составляет 0,0003 мг/м³.

Задача 12

Среднегодовое потребление молочных продуктов на душу населения в России составляет 212,4 кг/год. Предположим, что в молочных продуктах содержится фенол в концентрации 15 мг/кг. Рассчитать риск угрозы здоровью при употреблении в пищу таких молочных продуктов в течение полугода. Пороговая мощность дозы для фенола при поступлении с пищей равна 0,6 мг/кг сут.

Задача 13

Среднегодовое потребление растительного масла на душу населения в России составляет 10 кг/год. Предположим, что в растительном масле содержится тетраэтилсвинец (если поле находится вблизи шоссе, то тетраэтилсвинец может попасть в почву и результате осаждения выхлопных газов) в концентрации 1 мг/кг. Существует ли риск угрозы здоровью при употреблении в пищу такого растительного масла в течение года? Пороговая Мощность дозы для тетраэтилсвинца при поступлении с пищей равна $1,2 \cdot 10^{-7}$ мг/кг · сут.

Задача 14

Установлено, что винилхлорид может переходить из бутылок, изготовленных из полимерного материала - полихлорвинила, в воду и алкогольные напитки (включая пиво), в результате чего его концентрация в жидкости может составить 10-20 мг/л. Скорость перехода пропорциональна времени хранения бутылок. Пусть в некоторой партии бутылок пива содержание винилхлорида составляет в среднем 10 мг/л. Пиво этой партии пьют люди в течение полугода, каждый из них выпивает при этом в среднем 60 литров. Существует ли риск угрозы здоровью? Пороговая мощность дозы винилхлорида при поступлении с водой или пищей - $3 \cdot 10^{-3}$ мг/кг · сут.

Задача 15

В России потребляется, в среднем, $M = 28,1$ кг капусты на душу населения в год. Анализ проб капусты, выращенной в некоторой местности, показал, что содержание меди и цинка в два раза превышает значения ПДК этих металлов в свежих овощах, которые равны соответственно 5 мг/кг и 10 мг/кг. Имеется ли риск угрозы здоровью, если такая капуста будет потребляться в течение полугода? Значения пороговой мощности дозы меди и цинка при поступлении с пищей равны 0,04 мг/кг·сут и 0,3 мг/кг·сут соответственно.

Задача 16

В питьевой воде некоторой местности обнаружен хлорорганический пестицид - ДДТ с концентрацией, равной утроенному значению его ПДК в воде, которая составляет 0,002 мг/л. Рассчитать риск угрозы здоровью человека, пьющего эту воду в течение одного года. Учсть, что ежегодно этот человек уезжает из данной местности в отпуск, в котором проводит в среднем 30 дней. Пороговая мощность дозы ДДТ при поступлении с пищей равна $5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг · сут.

Задача 17

Предельно допустимая концентрация пестицида ДДТ в мясе составляет 0,1 мг/кг. Считается, что житель России съедает в год в среднем 26,6 кг мясопродуктов. Рассчитать риск угрозы здоровью человека, употребляющего в течение 3 лет мясопродукты, в которых содержание ДДТ превышает его ПДК в мясе в 2 раза. Пороговая мощность дозы ДДТ при поступлении пищей равна $5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг · сут.

Задача 18

Рассчитать индивидуальный риск угрозы здоровью в результате вдыхания в течение одного года пестицида ДДТ с концентрацией, равной 10 значениям ПДК этого вещества в

воздухе. Пороговая мощность дозы ДДТ при его поступлении с воздухом составляет $5 \cdot 10^{-4}$ мг/кг ·сут. ПДК пестицида ДДТ в воздухе равна 0,0005 мг/м .

Задача 19

Предположим, что в воде находятся весьма токсичные тяжелые металлы - кадмий и ртуть, причем их содержание равны значениям соответствующих ПДК в питьевой воде. Эти значения равны 0,001 мг/л для кадмия и 0,0005 мг/л для ртути. Какой индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек будет пить такую воду в течение 10 лет?

Задача 20

В некоторой местности обнаружен тяжелый металл - марганец, его содержание в воздухе оказалось равным 1 мкг/м^3 , а в воде - в 5 раз больше допустимой среднесуточной дозы (ДСД), которая в России принята равной 0,2 мг/кг ·сут. Каков индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек будет дышать таким воздухом и пить такую воду в течение 10 лет? На протяжении каждого года воздействие токсиканта длится, в среднем 300 дней. Пороговая мощность дозы марганца составляет $1,4 \cdot 10^{-3}$ мг/кг ·сут при поступлении с воздухом и равна 0,14 мг/кг ·сут при поступлении с водой.

4. Оценка риска здоровью при воздействии беспороговых токсикантов (нерадиоактивных канцерогенов)

К канцерогенам относят вещества, воздействие которых увеличивает частоту возникновения опухолей (доброкачественных и/или злокачественных) в популяциях человека и/или животных и/или сокращает время развития этих опухолей [5].

При оценке риска угрозы здоровью, обусловленного воздействием канцерогенных веществ, используют два важных положения.

Во-первых, принято считать, что у канцерогенов нет пороговой дозы, их действие начинается уже при самых малых количествах, попавших в организм человека.

Во-вторых, считается, что вероятность развития онкозаболевания – канцерогенный риск, прямо пропорциональна количеству (дозе) канцерогена, введенного в организм. Совокупность этих двух положений называют беспороговой линейной моделью.

Линейный характер зависимости между канцерогенным риском и дозой канцерогенного вещества выражается формулой:

$$r = F_r \cdot D, \quad (1)$$

где r - индивидуальный канцерогенный риск, под ним следует понимать дополнительный риск (дополнительно к уже существующей вероятности заболеть раком) онкологического заболевания, вызываемый поступлением данного канцерогена;

D - доза канцерогена, попавшего в организм человека;

F_r - коэффициент пропорциональности между риском и дозой, называемый фактором риска.

Фактор риска показывает, насколько быстро возрастает вероятность онкозаболевания при увеличении дозы канцерогена, поступившего в организм человека с воздухом, водой или пищей. Фактор риска еще называют коэффициентом наклона, так как он характеризует угол наклона прямой зависимости «риск -доза». Очевидно, что чем больше угол наклона, тем больше угроза здоровью.

Единица фактора риска F_r - $[\text{мг/кг} \cdot \text{сут}]^{-1}$; она обратна единице среднесуточного поступления канцерогена. Фактор риска количественно характеризует увеличение угрозы здоровью в результате ежедневного поступления данного канцерогена в количестве 1 мг,

отнесенного к 1 кг массы тела человека. Индивидуальный канцерогенный риск вычисляют по формуле:

$$r = m \cdot F_r, \quad (2)$$

где m - среднесуточное поступление канцерогена с воздухом, водой или с пищей, отнесенное к 1 кг массы тела человека, в миллиграммах на килограмм в сутки (мг/кг·сут).

Удобство расчета риска по этой формуле заключается в том, что в результате перемножения величин m и F_r получается безмерная величина.

В таблицах 1–2 приведены значения факторов риска (в порядке его возрастания) при поступлении в организм человека ряда канцерогенов с воздухом (таблица 1), а также с водой и пищей (таблица 2).

Значения факторов риска определяются, как правило, в результате опытов на животных.

Эти таблицы показывают, что величина фактора риска варьирует в очень широких пределах.

Таблица 1 - Значение фактора риска при поступлении в организм человека канцерогенов с воздухом

Канцерогены	$F_r, (\text{мг/кг}\cdot\text{сут})^{-1}$
Дихлорметан	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Трихлорэтилен	$7 \cdot 10^{-4}$
Формальдегид	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Свинец и его соединения	$4,2 \cdot 10^{-2}$
Бензол	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Винилхлорид	$7,2 \cdot 10^{-2}$
Тетрахлорэтилен	0,15
Дихлорэтан	0,27
Хлорбензол	0,27
ДДТ	0,34
Никель (пыль в воздухе)	0,91
Полихлорированные бифенилы	2,0
Выхлопные газы дизельные двигателей	2,1
Кадмий и его соединения	6,3
Бензо(а)пирен	7,3
Бериллий, металл и оксид	8,4

Мышьяк	12
Хром (IV)	42
Бериллий, сульфат	$3 \cdot 10^3$
Диоксиды (смесь)	$4,6 \cdot 10^3$

При решении задач, рассматривается поступление канцерогена с воздухом, его среднесуточное поступление отнесенное к 1 кг массы тела человека, рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (3)$$

где C - концентрация канцерогена в воздухе (мг/м³);

V - объем воздуха, поступающего в легкие в течение суток м³/сут (считаем что взрослый человек вдыхает 20 м³ воздуха ежедневно);

f - количество дней в году, в течение которых происходит воздействие канцерогена;

T_p - количество лет, в течение которых происходит воздействие канцерогена;

P - средняя масса тела взрослого человека, принимая равной 70 кг;

T - усредненное время возможного воздействия канцерогена, в качестве которого принимается средняя продолжительность жизни человека, считающаяся равной 70 годам (25 550 сут).

При решении задач, связанных потреблением питьевой воды, то среднесуточное поступление канцерогена с водой на 1 кг массы тела человека определяется по несколько измененной формуле:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (4)$$

где C - концентрация канцерогена в питьевой воде, мг/л;

v - скорость поступления воды в организм человека, л/сут. Считается, что взрослый человек выпивает ежедневно 2 литра воды;

f - количество дней в году, в течение которых происходит воздействие канцерогена;

T_p - количество лет, в течение которых потребляется рассматриваемая питьевая вода.

P - средняя масса тела взрослого человека, принимая равной 70 кг;

T - усредненное время возможного воздействия канцерогена, в качестве которого принимается средняя продолжительность жизни человека, считающаяся равной 70 годам (25 550 сут).

Таблица 2 -Значение фактора риска F_r при поступлении в организм человека канцерогенов с водой и пищей[4]

Канцерогены	$F_r, (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$
Свинец и его соединения	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Хлороформ	$3,1 \cdot 10^{-2}$

Бензол	$5,5 \cdot 10^{-2}$
Пентахлорфенол C_6H_5Cl	0,12
Хлорбензол $C_{16}H_{14} Cl_2O_3$	0,27
ДДТ	0,3
Кадмий и его соединения	0,38
Трихлорэтилен	0,4
Тетрахлорэтилен	0,54
Мышьяк	1,75
Винилхлорид	1,9
Бериллий, оксид	7,0
Полихлорированные бифенилы	5,0
Бензо(а)пирен	12
Бериллий, сульфат	$3 \cdot 10^3$
Диоксиды (смесь)	$1,6 \cdot 10^5$

Величины Р и Т такие же, как и в формуле, по которой рассчитывается поступление канцерогена с воздухом [10].

Если решаются задачи, связанные с потреблением продуктов питания, то среднесуточное поступление m канцерогена с пищей, приведенное к 1 кг массы тела человека, определяют по формуле:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (5)$$

где С – концентрация канцерогена в рассматриваемом пищевом продукте;

М - количество продукта, потребляемого за один год;

T_p - количество лет, в течение которых потребляется рассматриваемый продукт;

Р - средняя масса тела взрослого человека, принимая равной 70 кг;

Т - усредненное время возможного воздействия канцерогена, в качестве которого принимается средняя продолжительность жизни человека, считающаяся равной 70 годам (25 550 сут).

Р и Т - такие же, как и в формуле, по которой рассчитывается поступление канцерогена с воздухом или с водой.

После того, как вычислено среднесуточное поступление канцерогена, приведенное к 1 кг массы тела человека, рассчитывают индивидуальный канцерогенный риск r по формуле

$$r = m \cdot F_T, \quad (6)$$

где F_T - фактор риска, выражаемый в $(\text{мг/кг}\cdot\text{сут})^{-1}$, его значения приведены в таблице 24 и 25.

Если $r \leq 10^{-6}$, индивидуальный канцерогенный риск считается пренебрежимо малым. Верхний предел допустимого индивидуального канцерогенного риска принимается равным 10^{-4} .

Если $r > 10^{-4}$, индивидуальный канцерогенный риск считается недопустимым.

В случае воздействия нескольких канцерогенов полный риск выражается суммой отдельных рисков:

$$r_t = r_1 + r_2 + \dots, \quad (7)$$

Коллективный канцерогенный риск R определяется формулами

$$R = r \cdot N, \quad (8)$$

$$R_t = r_t \cdot N, \quad (9)$$

где N - количество человек, подвергающихся данному риску.

5.1 Примеры решения задач

Задача 1

В воздухе вблизи химического завода находится дихлорметан, концентрация которого составляет 12 мг/м^3 . На протяжении 10 лет таким воздухом дышит население, численность которого составляет 6 тыс. человек. Количество дней, в течение которых люди подвергаются канцерогенному риску, равно в среднем 300. Фактор риска при поступлении дихлорметана с воздухом равен $1,6 \cdot 10^{-3} (\text{мг/кг}\cdot\text{сут})^{-1}$. Рассчитать значения индивидуального и коллективного канцерогенного рисков.

$$\begin{aligned} C &= 12 \text{ мг/м}^3, \\ V &= 20 \text{ м}^3/\text{сут}, \\ F_T &= 1,6 \cdot 10^{-3} (\text{мг/кг}\cdot\text{сут})^{-1}, \\ T_p &= 10 \text{ лет}, \\ f &= 300 \text{ сут/год}, \\ N &= 6 \cdot 10^3 \text{ чел}, \\ P &= 70 \text{ кг}, \\ T &= 70 \text{ лет}. \end{aligned}$$

Решение

Среднесуточное поступление дихлорметана с воздухом на 1 кг массы тела человека рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{12 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 20 (\text{м}^3/\text{сут}) \cdot 300 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 10 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 25550 (\text{сут})} = \frac{7,2 \cdot 10^5 (\text{мг})}{766500 (\text{кг} \cdot \text{сут})} = 0,4 \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \quad (10)$$

Индивидуальный канцерогенный риск:

$$r = m \cdot R_r = 0,4 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 6,4 \cdot 10^{-4}, \quad (11)$$

Приведенный к одному году индивидуальный риск составит $6,4 \cdot 10^{-4}/10 = 6,4 \cdot 10^{-5}$. Эта величина ниже уровня допустимого риска, который считается равным $1 \cdot 10^{-4} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Коллективный риск определяется формулой

$$R = r \cdot N, \quad (12)$$

Для условий данной задачи

$$R = 6,4 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^3 = 0,38 < 1, \quad (13)$$

Следовательно, в рассматриваемой ситуации можно ожидать, что течение 10 лет не будет наблюдаться ни одного дополнительного случая появления раковых заболеваний.

Задача 2

В ежегодный рацион жителя России входит в среднем 212,4 кг молочных продуктов. Предположим, что в молочных продуктах содержатся диоксины, и их концентрация равна значению ПДК для диоксинов в молоке ($5,2 \cdot 10^{-6}$ мг/кг). Пусть эти молочные продукты идут в пищу 100 человек на протяжении 9 лет. Фактор риска при поступлении диоксинов с продуктами питания равен $F_r = 1,6 \cdot 10^{-5} (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$. Рассчитать индивидуальный и коллективный риски угрозы здоровью.

$$C = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ мг/кг},$$

$$M = 212,4 \text{ кг/год},$$

$$F_r = 1,6 \cdot 10^{-5} (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1},$$

$$T_p = 2 \text{ года},$$

$$N = 10^2 \text{ чел},$$

$$P = 70 \text{ кг},$$

$$T = 70 \text{ лет}.$$

Решение

Среднесуточное поступление диоксинов с молочными продуктами на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot M \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{5,2 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \right) \cdot 212,4 (\text{кг/год}) \cdot 2 (\text{год})}{70 (\text{кг}) \cdot 70 (\text{лет}) \cdot 365 (\text{сут/год})} = \frac{0,0022 (\text{мг})}{1788500 (\text{кг} \cdot \text{сут})} = 1 \cdot 10^{-9} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \quad (14)$$

Индивидуальный канцерогенный риск:

$$r = m \cdot R_r = 1 \cdot 10^{-9} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 1,6 \cdot 10^{-4}, \quad (15)$$

Приведенный к одному году индивидуальный риск составит

$$1,6 \cdot 10^{-4} / 2 = 0,8 \cdot 10^{-4}. \quad (16)$$

Эта величина очень близка к уровню допустимого риска, который считается равным $1 \cdot 10^{-4} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Коллективный риск определяется формулой $R = r \cdot N$. Для условий данной задачи

$$R = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^2 = 0,016 \ll 1, \quad (17)$$

Это означает, что в рассматриваемом случае в течение 2 лет не должно наблюдаться ни одного случая появления раковых заболеваний.

Задача 3

Рассчитать индивидуальный и коллективный риски угроз здоровью для следующих условий. Содержание диоксинов в питьевой воде равно 10 ПДК этих веществ в воде, ПДК составляет $2 \cdot 10^{-8}$ мг/л. Время потребления такой воды группой в 1000 человек - 5 лет. Средняя частота потребления - 300 дней в год. Фактор риска при поступлении диоксинов с водой равен $1,6 \cdot 10^{-5} (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

$$C = 10 \text{ ПДК} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ мг/л},$$

$$v = 2 \text{ л/сут},$$

$f = 300$ сут/год,
 $F_r = 1,6 \cdot 10^5$ (мг/кг·сут)⁻¹,
 $T_p = 5$ лет,
 $N = 10^3$ чел,
 $P = 70$ кг,
 $T = 70$ лет.

Решение

Среднесуточное поступление диоксинов с питьевой водой на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 2 \text{ л/сут} \cdot 300 \frac{\text{сут}}{\text{год}} \cdot 5 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 25550 (\text{сут})} = 3,4 \cdot 10^{-10} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (18)$$

Индивидуальный канцерогенный риск:

$$r = m \cdot R_r = 3,4 \cdot 10^{-10} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 1,6 \cdot 10^5 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 5,4 \cdot 10^{-5}, \quad (19)$$

Если привести к одному году, то индивидуальный риск составит

$$5,4 \cdot 10^{-4} / 5 = 1,1 \cdot 10^{-5}, \quad (20)$$

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

Коллективный риск определяется формулой $R = r \cdot N$. Для условий данной задачи

$$R = 5,4 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3 = 0,054 \ll 1, \quad (21)$$

Следовательно, в рассматриваемой ситуации можно ожидать, что течение 5 лет не будет наблюдаться ни одного дополнительного случая появления раковых заболеваний.

Задача 4

Рассчитать риск в виде количества дополнительных случаев онкологических заболеваний среди жителей поселка с населением в 10 тыс. человек в результате потребления воды с содержанием канцерогена - трихлорэтилена, равным 25 мкг/л. Такая вода потребляется в течение 30 лет, причем в течение каждого года она потребляется в среднем в течение 300 дней. Фактор риска в данном случае равен 0,4 (мг/кг·сут)⁻¹.

$C = 25 \text{ мкг/л} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ мг/л}$,
 $v = 2 \text{ л/сут}$,
 $f = 300 \text{ сут/год}$,
 $T_p = 30 \text{ лет}$,
 $F_r = 0,4$ (мг/кг·сут)⁻¹,
 $N = 10^4$ чел,
 $P = 70 \text{ кг}$,
 $T = 70 \text{ лет}$.

Решение

Среднесуточное поступление канцерогена с водой на 1 кг массы тела человека:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,025 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{сут}} \right) \cdot 300 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 30 \left(\text{лет} \right)}{70 \left(\text{кг} \right) \cdot 25550 \left(\text{сут} \right)} = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (22)$$

Индивидуальный канцерогенный риск:

$$r = m \cdot R_r = 2,5 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 0,4 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 1 \cdot 10^{-4}, \quad (23)$$

Если привести к одному году, то индивидуальный риск составит

$$1 \cdot 10^{-4} / 30 = 3,3 \cdot 10^{-6}, \quad (24)$$

Эта величина во много раз ниже уровня допустимого риска, который равен $1 \cdot 10^{-4} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Коллективный риск определяется формулой $R = r \cdot N$. Для условий данной задачи

$$R = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 = 1, \quad (25)$$

Т.е. следует ожидать появления одного случая дополнительного заболевания раком на 10 тыс. человек в течение 30 лет.

Задача 5

Рассчитать индивидуальный риск, обусловленный комбинированным действием двух канцерогенов, содержащихся в питьевой воде. В воде находится винилхлорид с концентрацией равной 0,3 мг/л (его фактор риска при поступлении с водой составляет $1,9 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1}$, и мышьяк с концентрацией, равно его ПДК в питьевой воде (0,05 мг/л). Фактор риска при поступлении мышьяка с водой равен $1,75 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1}$. Такая вода потребляется в течение 3 лет, причем в течение каждого года он потребляется в среднем в течение 300 дней.

Винилхлорид:

$$C_1 = 0,3 \text{ мг/л,}$$

$$Fr(1) = 1,9 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1},$$

Мышьяк:

$$C_2 = 0,05 \text{ мг/л,}$$

$$Fr(2) = 1,75 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1},$$

$$f = 300 \text{ сут/год,}$$

$$T_p = 3 \text{ года,}$$

$$v = 2 \text{ л/сут,}$$

$$P = 70 \text{ кг,}$$

$$T = 70 \text{ лет.}$$

Решение

Среднесуточное поступление винилхлорида с водой на 1 кг массы тела человека:

$$m_1 = \frac{C_1 \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,3 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{сут}} \right) \cdot 300 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 3 \left(\text{года} \right)}{70 \left(\text{кг} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 70 \left(\text{лет} \right)} = 3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (26)$$

Среднесуточное поступление мышьяка с водой на 1 кг массы тела человека:

$$m_1 = \frac{C_2 \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T_t} = \frac{0,05 \left(\frac{\text{мг}}{\text{л}} \right) \cdot 2 \left(\frac{\text{л}}{\text{сут}} \right) \cdot 300 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 3 \left(\text{года} \right)}{70 \left(\text{кг} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 70 \left(\text{лет} \right)} = 5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (27)$$

Индивидуальный риск, обусловленный винилхлоридом

$$r_1 = m_1 \cdot R_{r(1)} = 3 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 1,9 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 5,7 \cdot 10^{-4}, \quad (28)$$

Индивидуальный риск, обусловленный мышьяком:

$$r_2 = m_2 \cdot R_{r(2)} = 5 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 1,75 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 8,8 \cdot 10^{-5}, \quad (29)$$

Суммарный индивидуальный риск за 3 года:

$$r_t = r_1 + r_2 = 5,7 \cdot 10^{-4} + 8,8 \cdot 10^{-5} = 6,6 \cdot 10^{-4}, \quad (30)$$

Индивидуальный риск, приведенный к одному году:

$$6,6 \cdot 10^{-4} / 3 = 2,2 \cdot 10^{-6}, \quad (31)$$

Эта величина превышает уровень допустимого риска, который равен $1 \cdot 10^{-4} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, поэтому риск надо считать недопустимым. При этом основной вклад в угрозу здоровью вносит винилхлорид.

Задача 6

В Российской Федерации значения ПДК тяжелых металлов-канцерогенов в воздухе приняты равными: никель - $0,001 \text{ мг/м}^3$, хром (VI) - $0,0015 \text{ мг/м}^3$.

Предположим, что содержание этих канцерогенов в воздухе некоторого населенного пункта равно значениям соответствующих ПДК.

Каков суммарный коллективный риск угрозы здоровью для контингента людей численностью 500 человек, если эти люди будут дышать таким воздухом в течение 30 лет? В течение каждого года канцерогены действуют в среднем 330 дней. Фактор риска при поступлении с воздухом для Cr(VI) равен $42 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1}$, а для Ni = $7,6 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1}$.

$$C_{\text{Ni}} = \text{ПДК} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3,$$

$$C_{\text{Cr}} = \text{ПДК} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3,$$

$$V = 20 \text{ м}^3/\text{сут},$$

$$f = 330 \text{ сут/год},$$

$$T_p = 30 \text{ лет},$$

$$F_r(\text{Ni}) = 7,6 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1},$$

$$F_r(\text{Cr}) = 42 \text{ (мг/кг} \cdot \text{сут)}^{-1},$$

$$N = 5 \cdot 10^2 \text{ чел},$$

$$P = 70 \text{ кг},$$

$$T = 70 \text{ лет}.$$

Решение

Среднесуточное поступление никеля с воздухом на 1 кг массы тела человека:

$$m_{\text{Ni}} = \frac{C_{\text{Ni}} \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 20 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{сут}} \right) \cdot 330 \left(\frac{\text{сут}}{\text{год}} \right) \cdot 30 \left(\text{лет} \right)}{70 \left(\text{кг} \right) \cdot 25550 \left(\text{сут} \right)} = 1,1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (32)$$

Индивидуальный риск, обусловленный поступлением никеля:

$$r_{Ni} = m_{Ni} \cdot R_{r(Ni)} = 1,1 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 7,6 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 8,4 \cdot 10^{-4}, \quad (33)$$

Значение индивидуальный риск, приведенный к одному году:

$$8,4 \cdot 10^{-4} / 30 = 2,8 \cdot 10^{-5}, \quad (34)$$

Эта величина превышает предел допустимого риска ($1 \cdot 10^{-4}$ чел⁻¹ · год⁻¹).

Коллективный риск определяется формулой $R_{Cr} = r_{Ni} \cdot N$. Для условий данной задачи

$$R_1 = 8,4 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^5 = 0,42, \quad (35)$$

Среднесуточное поступление канцерогена с воздухом на 1 кг массы тела человека:

$$m_{Cr} = \frac{C_{Cr} \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \cdot 20 (\text{м}^3 / \text{сут}) \cdot 330 \frac{\text{сут}}{\text{год}} \cdot 30 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 25550 (\text{сут})} = 1,7 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}}, \quad (36)$$

Индивидуальный риск, обусловленный поступлением хрома с воздухом:

$$r_{Cr} = m_{Cr} \cdot R_{r(Cr)} = 1,7 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right) \cdot 42 \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг} \cdot \text{сут}} \right)^{-1} = 7,1 \cdot 10^{-3}, \quad (37)$$

Значение индивидуальный риск, приведенный к одному году: $7,1 \cdot 10^{-3} / 30 = 2,4 \cdot 10^{-4}$. Эта величина превышает предел допустимого риска ($1 \cdot 10^{-4}$ чел⁻¹ · год⁻¹).

Коллективный риск определяется формулой $R_{Cr} = r_2 \cdot N$. Для условий данной задачи

$$C_{Cr} = 7,1 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^5 = 3,55, \quad (38)$$

Суммарный коллективный канцерогенный риск:

$$R_t = R_{Ni} + R_{Cr} = 0,42 + 3,55 = 4, \quad (39)$$

Расчет показывает, что в данной ситуации можно ожидать появления четырех дополнительных случаев заболевания раком в течение 30 лет среди группы людей в 500 человек. Видно, что рассматриваемый риск недопустим, причем полученный результат практически полностью обусловлен влиянием шестивалентного хрома. Величину ПДК для этого канцерогена следует снизить.

2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 7

В воздухе некоторого промышленного предприятия обнаружен бензол с концентрацией, равной 15 мкг/м. Рассчитать канцерогенный риск, которому подвергается рабочий при вдыхании бензола в течение полугода. Считается, что за рабочий день (на рабочем месте) человек вдыхает 10 м^3 воздуха. Количество рабочих дней в году -250. Фактор риска при поступлении бензола с воздухом равен $5,5 \cdot 10^{-2} (\text{мг}/\text{кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

Задача 8

Процесс производства в одном из цехов завода связан с поступлением в воздух пыли, содержащей никель. Измерения показали, что концентрация никеля в воздухе в 6 раз превышает значение ПДК никеля в воздухе, которое равно $0,001 \text{ мг}/\text{м}^3$. Впишется, что за рабочий день (на рабочем месте) человек вдыхает 10 м^3 воздуха. Рассчитать риск, которому подвергаются люди, работающие в этом цеху в течение 3 лет. Количество рабочих дней в году -250. Фактор риска для никеля при его поступлении с воздухом равен $0,91 (\text{мг}/\text{кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

Задача 9

В некоторой местности из-за повышенного содержания мышьяка в почве и, как следствие, в кормовых травах содержание этого химического элемента в молоке оказалось равным 0,15 мг/кг, это в три раза выше ПДК мышьяка в молоке, которая составляет 0,05 мг/кг. Рассчитать риск употребления такого молока в течение 3 месяцев. Житель России выпивает в среднем 69,6 кг молока в год. Фактор риска при поступлении мышьяка с пищевыми продуктами равен $1,75 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 10

Шестивалентный хром является достаточно сильным канцерогеном. Предположим, что содержание соединений шестивалентного хрома в воздухе равно его ПДК в воздухе и составляет $0,0015 \text{ мг/м}^3$. Каков коллективный риск угрозы здоровью для группы людей численностью в 10 000 человек, если все они дышат таким воздухом в течение 5 лет? Фактор риска для поступления Cr^{6+} с воздухом равен $42 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 11

Предположим, что из-за влияния предприятия цветной металлургии содержание мышьяка в воздухе равно его ПДК в воздухе, которая составляет $0,003 \text{ мг/м}^3$. Каков коллективный риск угрозы здоровью для группы людей численностью 10 000 человек, если все эти люди дышат таким воздухом в течение 5 лет? Фактор риска для поступления мышьяка с воздухом равен $12 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 12

Средняя концентрация выхлопных газов дизельных двигателей автомобилей в некотором городе составляет 1 мкг в 1 кубическом метре. Рассчитать индивидуальный и коллективный риск угрозы здоровью для 10 тыс. человек, живущих в рассматриваемых условиях в течение 5 лет. Фактор риска в данном случае равен $2,1 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 13

В Российской Федерации значение ПДК (среднесуточной) бензол(а)пирена в воздухе населенных мест принято считать равным 1 мг/м^3 . Предположим, что содержание этого канцерогена в воздухе некоторого населенного пункта превысило эту величину в 5 раз. Каков коллективный риск угрозы здоровью для группы людей численностью 100 000 человек, если все эти люди дышат таким воздухом в течение 3 лет? Фактор риска для поступления бензо(а)пирена с воздухом равен $7,3 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 14

В Российской Федерации значение ПДК бензо(а)пирен поверхностных водах принято равным 5 нг/л . Содержание этого канцерогена в воде некоторого населенного пункта превысил данную величину в 5 раз. Каков коллективный риск угрозы здоровью для группы людей численностью 100 000 человек, если все эти люди пьют такую воду в течение 3 лет? В течение каждого года такая вода потребляется в среднем 330 дней. Фактор риска для поступления бензо(а)пирена с водой равен $12 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 15

Среднее содержание канцерогена - сульфата бериллия в овощах, выращенных в непосредственной близости от химкомбината, оказалось равным 10 мкг/кг . Житель России съедает в среднем 94 кг овощей в год. Каков индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек употребляет в пищу такие овощи в течение 3 месяцев? Фактор риска для поступления сульфата бериллия с продуктами питания равен $3 \cdot 10^3 \text{ (мг/кг}\cdot\text{сут)}^{-1}$.

Задача 16

Среднее содержание канцерогена бензола в картофеле оказалось равным 60 мг/кг. Житель России съедает, в среднем, 124,3 кг картофеля в год. Каков индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек употребляет в пищу этот картофель в течение одного года? Значение фактора риска для поступления бензола с продуктами питания составляет $5,5 \cdot 10^{-2} (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

Задача 17

Рассчитать индивидуальный риск, обусловленный комбинированным действием двух токсикантов - канцерогенов, содержащихся в воздухе: трихлорэтилена с концентрацией, равной $0,3 \text{ мг/м}^3$ (его фактор риска составляет $0,4 (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$), и бензо(а)пирена с концентрацией, равной $0,05 \text{ мг/м}^3$ (фактор риска $12 (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$). Таким воздухом человек дышит в течение 5 лет, причем в среднем в течение 300 дней в году.

Задача 18

В Российской Федерации значение ПДК бензо(а)пирена в поверхностных водах принято равным 5 нг/л, а значение ПДК(среднесуточной) бензо(а)пирена в воздухе населенных мест – 1 нг/м^3 . Предположим, что содержание этого канцерогена как в воде, так и в воздухе некоторого населенного пункта превысило значение соответствующих ПДК в 3 раза. Каков суммарный коллективный риск угрозы здоровью для группы людей численностью 100 000 человек, если все эти люди пьют такую воду и дышат воздухом в течение 3 лет? В течение каждого года канцероген действует в среднем 330 дней. Фактор риска для поступления бензо(а)пирена с водой и воздухом одинаков и равен $7,3 (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

Задача 19

Содержание канцерогена ДДТ в растительном масле оказалось равным удвоенному значению ПДК, которое для этого пищевого продукта равно $0,2 \text{ мг/кг}$. Житель России потребляет в среднем 10 кг растительного масла в год. Каков индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек употребляет в пищу это масло в течение одного года? Фактор риска для поступления ДДТ с продуктами питания равен $0,3 (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

Задача 20

Содержание канцерогена бензо(а)пирена в крупе в 5 раз превысило значение ПДК в зерновых продуктах, которое равно $0,001 \text{ мг/кг}$. Житель России съедает в среднем 5,2 кг крупы в год. Каков индивидуальный риск угрозы здоровью, если человек употребляет в пищу такую крупу в течение одного года? Фактор риска для поступления бензо(а)пирена с продуктами питания равен $12 (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

Задача 21

В почве обнаружены соединения кадмия, причем его содержание в 3 раза превысило значение ПДК кадмия в почвах, которое принято равным 2 мг/кг . Известно, что коэффициент концентрации кадмия при переходе из почвы в капусту близок к единице. Каков индивидуальный канцерогенный риск, если человек в течение полугода будет использовать в пищу капусту, выращенную на почве с повышенным содержанием кадмия. Считается, что житель России съедает в год в среднем 28,1 кг капусты. Фактор риска при поступлении Cd с пищей равен $0,38 (\text{мг/кг} \cdot \text{сут})^{-1}$.

5, Оценка риска угрозы здоровью при воздействии радиации

5.1 Расчет радиационного риска, связанного с внутренним облучением

Если a - удельная активность некоторого радионуклида, присутствующего в воздухе, в питьевой воде или в продуктах питания, то полная активность этого радионуклида (A), попавшая в организм человека за время t (количество лет) будет равна [6]:

$$A = a \cdot M \cdot t, (\text{Бк}), \quad (1)$$

где M - масса воздуха, воды или пищевого продукта, поступившая за один год. Единица измерения полной активности - Беккерель (Бк).

Вызванная этой активностью эффективная доза внутреннего облучения H_e (Зв) составит:

$$H_e = A \cdot \epsilon, \quad (2)$$

где ϵ - дозовый коэффициент рассматриваемого радионуклида. Единица измерения эффективной дозы облучения - Зиверт (Зв). Смысл этого коэффициента - в том, что с его помощью активность радионуклида, попавшего в организм человека, пересчитывается в соответствующую этой активности дозу внутреннего облучения. Значения дозовых коэффициентов ϵ (Зв/Бк) для радионуклидов, с которыми чаще всего приходится иметь дело на практике, при их поступлении в организм человека с воздухом, водой и пищей приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения дозовых коэффициентов, для радионуклидов, при их поступлении в организм человека с воздухом, водой и пищей [6]

Радионуклиды	Период полураспада, года	Поступление с воздухом, Зв/Бк	Поступление с водой и пищей, Зв/Бк
Тритий ^3H	12,3	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$
Углерод ^{14}C	5730	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
Калий ^{40}K	$1,28 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$
Кобальт ^{60}Co	5,27	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
Стронций ^{90}Sr	29,1	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$
Цезий ^{137}Cs	30,0	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
Радий ^{226}Ra	1600	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Уран ^{238}U	$4,47 \cdot 10^9$	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Торий ^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
Плутоний ^{239}Pu	$2,41 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$
Америций ^{241}Am	432	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$

После вычисления величины дозы внутреннего облучения H_e можно рассчитать значение индивидуального радиационного риска r . Для этого используется формула:

$$r = H_e \cdot r_E, \quad (3)$$

где r_E - коэффициент индивидуального радиационного риска.

Этот коэффициент характеризует сокращение длительности периода полноценной жизни в среднем на $\beta=15$ лет на один стохастический (вероятностный) случай смертельного заболевания (главным образом раком). В соответствии с НРБ-99 «Нормы радиационного безопасности» значения этого коэффициента равны:

$r_E = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$ – для производственного облучения (т. е. для персонала, работающего с ионизирующим излучением);

$r_E = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$ – для населения.

Согласно НРБ-99 индивидуальный радиационный риск считается пренебрежимым, если величина r не превосходит $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. В этом же нормативном документе приведено значение верхней границы допустимого индивидуального радиационного риска, она составляет $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Значения r , превышающие $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$, следует считать недопустимыми[11].

Чтобы рассчитать коллективный радиационный риск, сначала надлежит определить величину коллективной дозы внутреннего облучения. Она равна произведению индивидуальной дозы H на численность коллектива N , подвергшегося такому облучению:

$$K = N \cdot H. \quad (4)$$

Коллективная доза выражается в человеко·зивертах (чел·Зв).

Коллективный радиационный риск R равен произведению коллективной дозы K на величину коэффициента радиационного риска r_E :

$$R = r_E \cdot K. \quad (5)$$

Коллективный радиационный риск R показывает количество случаев проявления стохастических эффектов, каждый из которых характеризуется сокращением длительности периода полноценной жизни в среднем на $\beta = 15$ лет. Перемножая R и β , получим потерю коллективной продолжительности жизни, обозначим ее Δ :

$$\Delta = R \cdot \beta. \quad (6)$$

Если считать, что средняя продолжительность жизни человека равна 70 годам, то ожидаемая коллективная продолжительность жизни рассматриваемого коллектива численностью N равна:

$$T_k = 70 \cdot N \text{ (лет)}. \quad (7)$$

Относительная потеря коллективной продолжительности жизни будет равна:

$$\delta = \Delta / T_k = \Delta / 70 \cdot N. \quad (8)$$

Для одного человека среднее сокращение продолжительности жизни составит $70 \cdot \delta$ (лет). Эта величина, как и значение r , также характеризует индивидуальный радиационный риск[12].

1 Примеры решения задач

Задача 1

Согласно санитарным нормам и правилам СанПиН 2.3.2.560-96 допустимые уровни содержания радионуклидов в сушеных грибах составляет: ^{90}Sr – 250 Бк/кг, ^{137}Cs – 2500 Бк/кг. Рассчитать соответствующие этим уровнем значения коллективного и индивидуального рисков, если в течение одного года каждый из жителей некоторой местности использует в пищу в среднем 2 кг сушеных грибов с указанными уровнями содержаний радионуклидов. Численность населения в местности равна 1000 чел. Дозовые коэффициенты (при поступлении радионуклидов с продуктами питания) равны: для ^{90}Sr – $8,0 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк}$, для ^{137}Cs – $1,3 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк}$. Коэффициент радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

^{90}Sr	^{137}Cs
$a_1 = 250 \text{ Бк/кг,}$	$a_2 = 2500 \text{ Бк/кг,}$

$$\epsilon_1 = 8,0 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк};$$

$$\epsilon_2 = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк},$$

$$M = 2 \text{ кг/год},$$

$$t = 1 \text{ год},$$

$$N = 10^3 \text{ чел},$$

$$r_e = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}.$$

Решение:

Сначала вычислим риск, обусловленный попаданием в организм радиостронция. Полная активность этого радионуклида:

$$A_1 = a_1 \cdot M \cdot t = 250 \text{ (Бк/кг)} \cdot 2 \text{ (кг/год)} \cdot 1 \text{ (год)} = 500 \text{ Бк}. \quad (9)$$

Вызванная этой активностью эффективная доза внутреннего облучения составит:

$$H_1 = A_1 \cdot \epsilon_1 = 500 \text{ (Бк)} \cdot 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ (Зв/Бк)} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{Зв}. \quad (10)$$

Коллективная эффективная среднегодовая доза:

$$K_1 = N \cdot H_1 = 10^3 \text{ (чел)} \cdot 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ (Зв)} = 0,04 \text{ чел} \cdot \text{Зв}. \quad (11)$$

Теперь вычислим риск, обусловленный попаданием в организм радиоцезия. Полная активность этого радионуклида:

$$A_2 = a_2 \cdot M \cdot t = 2500 \text{ (Бк/кг)} \cdot 2 \text{ (кг/год)} \cdot 1 \text{ (год)} = 5000 \text{ Бк}. \quad (12)$$

Обусловленная этой активностью эффективная доза внутреннего облучения:

$$H_2 = A_2 \cdot \epsilon_2 = 5000 \text{ (Бк)} \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ (Зв/Бк)} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{Зв}. \quad (13)$$

Коллективная эффективная среднегодовая доза:

$$K_2 = N \cdot H_2 = 10^3 \text{ (чел)} \cdot 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ (Зв)} = 0,065 \text{ чел} \cdot \text{Зв}. \quad (14)$$

Полная эффективная среднегодовая доза:

$$K = K_1 + K_2 = 0,04 + 0,065 = 0,105 \text{ чел} \cdot \text{Зв}. \quad (15)$$

Коллективный риск определяется выражением:

$$R = r_e \cdot K = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ (чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) \cdot 0,105 \text{ (чел} \cdot \text{Зв)} = 0,008, \quad (16)$$

случая проявления стохастических эффектов. Каждый такой эффект приводит к сокращению длительности периода полноценной жизни в среднем на $\Delta = 15$ лет. Перемножая 0,008 и 15, получим потерю коллективной продолжительности жизни, равную:

$$\Delta = R \cdot \beta = 0,008 \cdot 15 = 0,12 \text{ лет}. \quad (17)$$

Если считать, что средняя продолжительность жизни человека равна 70 годам, то ожидаемая коллективная продолжительность жизни рассматриваемой группы составит

$$T_k = 70 \cdot N = 70 \cdot 1 \cdot 10^3 = 7 \cdot 10^4 \text{ лет}. \quad (18)$$

Относительная потеря коллективной продолжительности жизни будет равна:

$$D = \frac{\Delta}{T_k} = \frac{0,12 \text{ (лет)}}{7 \cdot 10^4 \text{ (лет)}} = 0,0000017 = 0,00017 \%, \quad (19)$$

Для одного человека среднее сокращение продолжительности жизни составит:

$$70 \cdot \delta = 70 \cdot 0,0000017 = 0,00012 \text{ года} = 0,04 \text{ дня} = 0,96 \text{ часа}. \quad (20)$$

В этой задаче (как и в последующих) не учитываются эффекты синергизма, заключающиеся в том, что действие одного радионуклида может усиливать действие другого. Однако это компенсируется тем, что радиационный риск рассчитывается по линейной беспороговой модели, которая предполагает, что радиация оказывает воздействие даже при малых дозах. Существуют многочисленные указания, что на самом деле это не так. Использование беспороговой линейной модели является отражением так называемого консервативного подхода к расчету радиационного риска, т. е. своего рода перестраховкой. Кроме того, в задачах подобного рода не учитывается вывод радионуклидов из организма человека, это дополняет консервативный подход к вычислению радиационного риска.

Задача 2

Допустимые уровни содержания радионуклидов в хлебе и хлебобулочных изделиях согласно санитарным нормам и правилам (СанПиН 2.3.2.560-96) составляет: радиостронций - 70 Бк/кг, радиоцезий -40 Бк/кг.

Рассчитать соответствующие этим уровням значения коллективного и индивидуального риска для жителей города с населением 100000 человек, с учетом того, что согласно статистическим данным каждый житель России съедает за год 130,8 кг хлебопродуктов. Дозовые коэффициенты равны: ^{90}Sr $-8,0 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк, ^{137}Cs $-1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк. Коэффициент радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2}$ чел $^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

^{90}Sr	^{137}Cs
$a_1 = 250$ Бк/кг,	$a_2 = 2500$ Бк/кг,
$\epsilon_1 = 8,0 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк;	$\epsilon_2 = 1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк,

$$M = 2 \text{ кг/год,}$$

$$t = 1 \text{ год,}$$

$$N = 10^5 \text{ чел,}$$

$$r_e = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}.$$

Решение:

Сначала вычислим риск, обусловленный попаданием в организм радиостронция. Полная активность этого радионуклида:

$$A_1 = a_1 \cdot M \cdot t = 70 \text{ (Бк/кг)} \cdot 130,8 \text{ (кг/год)} \cdot 1 \text{ (год)} = 9156 \text{ Бк.} \quad (21)$$

Вызванная этой активностью эффективная доза внутреннего облучения составит:

$$H_1 = A_1 \cdot \epsilon_1 = 9156 \text{ (Бк)} \cdot 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ (Зв/Бк)} = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ Зв.} \quad (22)$$

Коллективная эффективная среднегодовая доза:

$$K_1 = N \cdot H_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ (чел)} \cdot 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ (Зв)} = 73 \text{ чел} \cdot \text{Зв.} \quad (23)$$

Риск, связанный с попаданием в организм радиоцезия, вычисляется аналогичным образом. Полная активность этого радионуклида:

$$A_2 = a_2 \cdot M \cdot t = 40 \text{ (Бк/кг)} \cdot 130,8 \text{ (кг/год)} \cdot 1 \text{ (год)} = 5232 \text{ Бк.} \quad (24)$$

Обусловленная этой активностью эффективная доза внутреннего облучения:

$$H_2 = A_2 \cdot \epsilon_2 = 5232 \text{ (Бк)} \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ (Зв/Бк)} = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ Зв.} \quad (25)$$

Коллективная эффективная среднегодовая доза:

$$K_2 = N \cdot H_2 = 1 \cdot 10^5 \text{ (чел)} \cdot 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ (Зв)} = 6,8 \text{ чел} \cdot \text{Зв.} \quad (26)$$

Полная эффективная среднегодовая доза:

$$K = K_1 + K_2 = 73 + 6,8 = 79,8 \text{ чел} \cdot \text{Зв.} \quad (27)$$

Коллективный риск определяется выражением: $R = r_e \cdot K$.

$$R = r_e \cdot K = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ (чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) \cdot 79,8 \text{ (чел} \cdot \text{Зв)} = 5,8 \quad (28)$$

Рассчитаем потерю коллективной продолжительности жизни, равную:

$$\Delta = R \cdot \beta = 5,8 \cdot 15 = 87,4 \text{ лет.} \quad (29)$$

Если считать, что средняя продолжительность жизни человека равна 70 годам, то ожидаемая коллективная продолжительность жизни рассматриваемой группы составит

$$T_K = 70 \cdot N = 70 \cdot 1 \cdot 10^5 = 7 \cdot 10^6 \text{ лет.} \quad (30)$$

Относительная потеря коллективной продолжительности жизни будет равна:

$$D = \frac{\Delta}{T_K} = \frac{87,4 \text{ (лет)}}{7 \cdot 10^6 \text{ (лет)}} = 0,000012 = 0,0012\% , \quad (31)$$

Для одного человека среднее сокращение продолжительности жизни составит:

$$70 \cdot \delta = 70 \cdot 0,000012 = 0,00084 \text{ года} = 0,3 \text{ дня.} \quad (32)$$

Задача 3

Согласно статистическим данным в годовой продуктовой набор взрослого жителя России входит 10,9 кг свежей рыбы в год. Какую предельную удельную активность цезия ^{137}Cs может иметь рыба, чтобы не был превзойден уровень пренебрежимого индивидуального радиационного риска, который составляет $1,0 \cdot 10^{-6} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Дозовый коэффициент ^{137}Cs равен $1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$.

Коэффициент радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

$a = 250 \text{ Бк/кг}$,

$\epsilon = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$,

$M = 10,9 \text{ кг/год}$,

$r_{\text{П}} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$,

$r_{\text{E}} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Решение

Индивидуальный риск определяется формулой

$$r_{\text{П}} = H \cdot r_{\text{E}}. \quad (33)$$

Отсюда значение дозы будет равно

$$H = \frac{r_{\text{П}}}{r_{\text{E}}} = \frac{1,0 \cdot 10^{-6} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1})}{7,3 \cdot 10^{-2} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1})} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{Зв}, \quad (34)$$

Связь между дозой и удельной активностью дается выражение:

$$H = M \cdot t \cdot \epsilon, \quad (35)$$

Следовательно, удельная активностью примет значение:

$$a = \frac{H}{M \cdot t} = \frac{1,0 \cdot 10^{-5} (\text{Зв})}{10,9 (\text{кг}) \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} (\text{Зв/Бк})} = \frac{1,4 \cdot 10^{-5}}{1,4 \cdot 10^{-7}} = 100 \text{ Бк/кг}, \quad (36)$$

Согласно НРБ-99 предел годового поступления (ПГП) радиоцезия с пищей составляет $7,7 \cdot 10^4 \text{ Бк/кг}$. В рассматриваемом случае годовое поступление радионуклидов будет равно: $100 \text{ Бк/кг} \cdot 10,9 \text{ кг} = 1090 \text{ Бк}$, т.е. более чем на порядок ниже значения ПГП.

Задача 4

Вода в одном из колодцев региона, пострадавшего в результате Чернобыльской катастрофы, характеризуется удельной активностью радиоцезия, равной 20 Бк/л . Это значение превышает величину уровня вмешательства, которая согласно НРБ-99 принята равной 11 Бк/л . Рассчитать индивидуальный радиационный риск в случае, если человек будет пить воду из этого колодца в течение 5 лет. Считать, что человек выпивает 2 л воды в день, причем весь радиоцезий остается в его организме.

Дозовый коэффициент ^{137}Cs равен $1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$.

Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Сравнить полученное значение с величиной предельно допустимого риска, равной $5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

$a = 20 \text{ Бк/л}$,

$УВ = 11 \text{ Бк/л}$,

$v = 2 \text{ л/сут}$,

$t = 5 \text{ лет}$,

$\epsilon = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$,

$r_{\text{E}} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$,

$r_{\text{Д}} = 5 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Решение

Полная активность радионуклидов, попавшего в организм:

$$A = a \cdot M \cdot t = 20(\text{Бк/кг}) \cdot 2 (\text{л/сут}) \cdot 365 (\text{сут/год}) \cdot 5 (\text{лет}) = 7,3 \cdot 10^4 \text{Бк}. \quad (37)$$

Вызванная этой активностью эффективная доза внутреннего облучения составит:

$$H = A \cdot \epsilon = 7,3 \cdot 10^4 (\text{Бк}) \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} (\text{Зв/Бк}) = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{Зв}. \quad (38)$$

Индивидуальный радиационный риск будет равен:

$$r = H \cdot r_E = 9,5 \cdot 10^{-4} (\text{Зв}) \cdot 7,3 \cdot 10^{-2} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1}. \quad (39)$$

Для одного года значение индивидуального радиационного риска составит:

$$6,9 \cdot 10^{-5} (\text{чел}^{-1}) / 5 (\text{лет}) = 1,4 \cdot 10^{-5} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}). \quad (40)$$

Полученное значение не превосходит величины предельно допустимого радиационного риска.

2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 5

Согласно санитарным нормам и правилам (СанПиН 2.3.2.560 -96) допустимый уровень удельной активности радиостронция в молоке составляет 25 Бк/кг. Рассчитать индивидуальный радиационный риск в случае, если человек будет пить такое молоко и есть изготовленные из него молочные продукты в течение одного года. Полное количество потребляемого молока и молочных продуктов принимается равным 212,4 кг в год. Считать, что весь стронций ^{90}Sr остается в организме человека. Дозовый коэффициент ^{90}Sr равен $8,0 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$. Рассчитать коллективный радиационный риск для населения численностью в 1000 человек.

Задача 6

В результате разгерметизации оболочки радиоактивного источника, происшедшей в некоторой лаборатории, в воздух попал радиоактивный кобальт, объемная активность которого составила 55Бк/м^3 . В течение 2 рабочих дней один из сотрудников этой лаборатории дышал загрязненным воздухом. Оценить индивидуальный радиационный риск в виде сокращения ожидаемой длительности жизни. Считать, что весь поступивший радионуклид остается в организме человека. Согласно НРБ-99 количество воздуха, вдыхаемого за один рабочий день, равно примерно 10м^3 .

Коэффициент радиационного риска для персонала равен $5,6 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Дозовый коэффициент для радиокобальта при поступлении его с воздухом равен $1,2 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$.

Задача 7

По нормам радиационной безопасности, действующим в России (НРБ-99), в эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200Бк/м^3 . Пусть в результате обследования, проведенного в некотором городе, было показано, что 2000 человек проживают в условиях, характеризующихся значением объемной активности радона (^{222}Rn) и торона (^{220}Rn), равным 100Бк/м^3 . Чему равен риск проживания в таких условиях в течение 20 лет (в виде гипотетического сокращения продолжительности жизни этого контингента людей)? Дозовый коэффициент ϵ при поступлении смеси радона и торона с воздухом в организм человека принять равным $4,3 \cdot 10^{-9} \text{Зв/Бк}$.

Коэффициент индивидуального радиационного риска r_E , установленный НРБ-99, равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 8

Согласно СанПиН 2.3.2.560-96 допустимый уровень содержания ^{90}Sr в растительном масле принят равным 80 Бк/кг. Считается, что житель России употребляет в пищу в среднем 10 кг растительного масла в год. Такое масло используют 500 человек. Рассчитать соответствующие этим значениям индивидуальный и коллективный радиационные риски.

Дозовый коэффициент ^{90}Sr равен $8,0 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 9

Согласно НРБ-99 предел допустимого индивидуального радиационного риска составляет $5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Рассчитать соответствующую этому риску удельную активность природного радионуклида ^{40}K в овощах. Считается, что житель России съедает в среднем 94 кг овощей в год. Дозовый коэффициент радиокалия равен $4,2 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 10

Рассчитать индивидуальный риск, возникающий при потреблении воды, в которой удельная активность радона равна 20 Бк/л. Будет ли превышен предел допустимого риска, равный $5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$? Считать, что ежедневно человек выпивает 2 л воды. Выводом радона из организма пренебречь. Дозовый коэффициент радона при поступлении с водой равен $1,0 \cdot 10^{-7} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 11

Согласно НРБ-99 значение пренебрежимого индивидуального радиационного риска составляет $1,0 \cdot 10^{-6} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Рассчитать соответствующую этому риску удельную активность радиоактивного изотопа трития в питьевой воде. Тритий образуется, в частности, в процессе штатной работы АЭС, и небольшая его часть попадает в воздух и воду. Считается, что человек, живущий вблизи АЭС, потребляет 2 л воды в день из колодца. Дозовый коэффициент трития (ЗН) равен $4,8 \cdot 10^{-11} \text{Зв/Бк}$.

Задача 12

Согласно НРБ-99 значение пренебрежимого индивидуального радиационного риска составляет $1,0 \cdot 10^{-6} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Рассчитать соответствующую этому риску удельную активность радиоактивного изотопа трития в питьевой воде. Тритий образуется, в частности, в процессе штатной работы АЭС, и небольшая его часть попадает в воздух и воду. Считается, что человек, живущий вблизи АЭС, потребляет 2 л воды в день из колодца. Дозовый коэффициент трития (ЗН) равен $4,8 \cdot 10^{-11} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 13

Согласно НРБ-99 предел допустимого индивидуального риска составляет $5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Рассчитать соответствующую этому риску удельную активность естественного радионуклида ^{40}K в хлебопродуктах. Считается, что житель России съедает в среднем 130,8 кг хлебопродуктов в год. Дозовый коэффициент ^{40}K для поступления с пищей равен $4,2 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 14

Согласно НРБ-99 предел допустимого индивидуального радиационного риска составляет $5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Рассчитать соответствующую этому риску удельную активность радиокалия в мясопродуктах. Считается, что житель России съедает в среднем 26,6 кг мясопродуктов в год. Дозовый коэффициент ^{40}K равен $4,2 \cdot 10^{-8} \text{Зв/Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 15

По данным Минатома и МЧС России средние концентрации (объемная активность) ^{90}Sr и ^{137}Cs в атмосферном воздухе к началу XXI в. стабилизировались и составляют в среднем для Российской Федерации $1,2 \cdot 10^{-7} \text{Бк}/\text{м}^3$ и $4,0 \cdot 10^{-7} \text{Бк}/\text{м}^3$ соответственно. Рассчитать приведенные к одному году коллективный и индивидуальный риски, обусловленные комбинированным действием двух радионуклидов, содержащихся в воздухе.

При расчете коллективного риска учесть все население России (150 млн чел.). Дозовый коэффициент ^{90}Sr при ингаляционном поступлении равен $5,0 \cdot 10^{-8} \text{Зв}/\text{Бк}$, а для ^{137}Cs значение этого коэффициента равно $4,6 \cdot 10^{-9} \text{Зв}/\text{Бк}$.

Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

В год в легкие взрослого человека поступает в среднем 8100 м^3 воздуха (НРБ-99).

Задача 16

Коэффициент переноса L радиоцезия из почвы в плодовое тело грибов принят равным $0,1 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1} / \text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$. В Ленинградской области максимальное загрязнение почвы радиоцезием, обусловленное чернобыльскими выпадениями, достигает $1 \text{ Ки}/\text{км}^2$. Рассчитать величину индивидуального радиационного риска, связанного с употреблением в пищу в течение года 2 кг грибов, собранных на участках с указанным значением поверхностного загрязнения.

Сравнить с величиной предельно допустимого риска, равной

$5 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$. Считать, что весь радиоцезий остается в организме человека.

Дозовый коэффициент ^{137}Cs равен $1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв}/\text{Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Рассчитать величину коллективного риска для группы в 100 человек.

Задача 17

Среднее значение коэффициента переноса L радиоцезия из супесчаных почв в растения составляет $0,06 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1} / \text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$. В Ленинградской области максимальное загрязнение почвы радиоцезием, обусловленное чернобыльскими выпадениями, достигает $1 \text{ Ки}/\text{км}^2$. На таких почвах выращен картофель. Рассчитать величину индивидуального радиационного риска, вызванного употреблением этого картофеля в пищу в течение одного года. Среднее количество картофеля в рационе жителя России - $124,2 \text{ кг}$ в год. Сравнить полученное значение риска с величиной предельно допустимого риска, равной $5 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Считать, что весь цезий (^{137}Cs) остается в организме человека. Дозовый коэффициент ^{137}Cs равен $1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв}/\text{Бк}$. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Рассчитать величину коллективного риска для контингента в 1000 чел.

Задача 18

Коэффициент накопления G радиоцезия в рыбах, обитающих в пресных водах, равен $1000 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1} / \text{Бк} \cdot \text{л}^{-2}$. Удельная активность радиоцезия в воде некоторого озера оказалась равной $0,15 \text{ нКи}/\text{л}$. Рассчитать величину индивидуального радиационного риска, вызванного употреблением в пищу 30 кг пойманной в этом озере рыбы в течение одного года. Сравнить полученное значение риска с величиной предельно допустимого риска, равной $5 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Считать, что весь радиоцезий остается в организме человека. Дозовый коэффициент ^{137}Cs равен $1,3 \cdot 10^{-8} \text{Зв}/\text{Бк}$.

Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Рассчитать величину коллективного риска для группы в 100 человек.

5.2 Расчет радиационного риска, связанного с внешним облучением

При расчете радиационного риска, связанного с внешним облучением, используются те же соотношения, что для вычисления риска, обусловленного внутренним облучением. Здесь не нужно вычислять активность радионуклида, требуется знать дозу (или мощность

дозы) внешнего облучения, которому подвергается человек. При решении некоторых задач следует использовать положение НРБ-99, согласно которому облучение коллективной дозой в 1 чел·Зв приводит к потенциальному ущербу, равному 1 чел·году жизни населения[6].

1 Примеры решения задач

Задача 1

Мощность дозы природного гамма-излучения в районах высокогорий может достигать 8 мЗв в год (влияние космического излучения). Рассчитать коллективный радиационный риск для одного миллиона жителей этих районов. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

$$\dot{H} = 8 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} = 8 \cdot 10^{-3} \text{Зв} \cdot \text{год}^{-1},$$

$$t = 70 \text{ лет},$$

$$r_E = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1},$$

$$N = 10^6 \text{ чел.}$$

Решение

Приняв среднюю продолжительность жизни, равную 70 годам, получим индивидуальную дозу внешнего облучения за это время:

$$H = \dot{H} \cdot t = 8 \cdot 10^{-3} (\text{Зв} \cdot \text{год}^{-1}) \cdot 70 (\text{лет}) = 0,56 \text{ Зв.} \quad (41)$$

Коллективная доза будет равна:

$$K = H \cdot N = 0,56 (\text{Зв}) \cdot 10^6 (\text{чел}) = 5,6 \cdot 10^5 \text{ чел} \cdot \text{Зв.} \quad (42)$$

Согласно НРБ-99 облучение коллективной дозой в 1 чел·Зв приводит к потенциальному ущербу, равному 1 чел·году жизни населения. Следовательно, в рассматриваемом случае ущерб определяется величиной

$$a = 5,6 \cdot 10^5 \text{ чел} \cdot \text{год.} \quad (43)$$

Коллективная продолжительность жизни в рассматриваемом примере составит (считается, что средняя продолжительность жизни человека равна 70 годам):

$$T_K = 10^6 (\text{чел}) \cdot 70 (\text{лет}) = 7 \cdot 10^7 \text{ лет.} \quad (44)$$

Относительная потеря коллективной длительности жизни будет равна:

$$D = \frac{a}{T_K} = \frac{5,6 \cdot 10^5}{7 \cdot 10^7 (\text{лет})} = 0,008 = 0,8\%, \quad (45)$$

Среднее сокращение жизни одного человека:

$$70 \cdot \delta = 70 \cdot 0,008 = 0,56 \text{ года.} \quad (46)$$

С другой стороны, коллективный риск R равен произведению коэффициента индивидуального риска и величины коллективной дозы:

$$R = K \cdot r_E = 5,6 \cdot 10^5 (\text{чел} \cdot \text{Зв}) \cdot 7,3 \cdot 10^{-2} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) = 4,1 \cdot 10^4. \quad (47)$$

Это означает, что можно ожидать появления неблагоприятных эффектов в 42 тыс. случаев. Согласно НРБ-99 каждый такой случай сопровождается сокращением деятельности жизни, равной 15 годам. Таким образом, потеря коллективной продолжительности жизни составит:

$$\Delta = 15 \times 4,1 \cdot 10^4 = 6,15 \cdot 10^5 \text{ лет.} \quad (48)$$

Относительная потеря коллективной продолжительности жизни будет равна:

$$\dot{A} = \frac{\Delta}{\dot{O}_e} = \frac{6,15 \cdot 10^5}{7 \cdot 10^7} = 0,0088 = 0,88\%, \quad (49)$$

Получен практически тот же результат.

Задача 2

При просмотре телевизионных передач (3 часа в сутки) мощность дозы мягкого гамма-и рентгеновского излучения на расстоянии 2 м от экрана катодно-лучевой трубки (имеются в виду кинескопы не на жидких кристаллах) составляет, в среднем, 0,02 мЗв в год.

Рассчитать индивидуальный радиационный риск, если человек проводит у телевизора каждый вечер в течение 20 лет.

Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Вычислить коллективный риск для 100 тыс. телезрителей.

$$H' = 0,02 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} = 2 \cdot 10^{-5} \text{Зв} \cdot \text{год}^{-1},$$

$$t = 20 \text{ лет},$$

$$r_E = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1},$$

$$N = 10^5 \text{чел}.$$

Решение

Величина индивидуальной дозы внешнего облучения за 20 лет:

$$H = H' \cdot t = 2 \cdot 10^{-5} (\text{Зв} \cdot \text{год}^{-1}) \times 20 (\text{лет}) = 4 \cdot 10^{-4} \text{Зв}. \quad (50)$$

Индивидуальный риск, отнесенный к 20 годам:

$$r = r_E \cdot H = 7,3 \cdot 10^{-2} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) \cdot 4 \cdot 10^{-4} (\text{Зв}) = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1}. \quad (51)$$

Предел допустимого риска, отнесенный к одному году, составляет $5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

За 20 лет этот предел примет значение: $20 \text{ лет} \cdot 5,0 \cdot 10^{-5} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{чел}^{-1}$.

В рассматриваемом случае получено значительно меньшее значение, поэтому угрозы здоровью нет. Индивидуальный риск, приведенный к одному году:

$$r = r_E \cdot H = 7,3 \cdot 10^{-2} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) \cdot 2 \cdot 10^{-5} (\text{Зв} \cdot \text{год}^{-1}) = 1,46 \cdot 10^{-6} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}. \quad (52)$$

Это чуть больше величины пренебрежимого риска, который, согласно НРБ-99, считается равным $1,0 \cdot 10^{-6} \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Если рассмотреть контингент телезрителей численностью в 100 тыс. человек, то коллективная доза за один год составит:

$$K = H \cdot N = 2 \cdot 10^{-5} (\text{Зв} \cdot \text{год}) \cdot 1 \cdot 10^5 (\text{чел}) = 2 \text{ чел} \cdot \text{Зв}. \quad (53)$$

Коллективный риск за один год:

$$R = K \cdot r_E = 2 (\text{чел} \cdot \text{Зв}) \cdot 7,3 \cdot 10^{-2} (\text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}) = 0,146. \quad (54)$$

Это означает, что среди 100 тыс. человек не должно отмечаться ни одного случая заболевания в год. Каждый такой случай сопровождается сокращением длительности жизни β , равной 15 годам. Значению 0,146 случаев соответствует сокращение коллективной продолжительности жизни на величину

$$\Delta = \beta \cdot R = 15 \cdot 0,146 = 2,2 \text{ года}. \quad (55)$$

Коллективная продолжительность жизни в рассматриваемом примере составит:

$$T_K = 10^5 \cdot 70 (\text{лет}) = 7 \cdot 10^6 \text{лет}. \quad (56)$$

Относительная потеря длительности жизни рассматриваемой группы будет равна:

$$\dot{A} = \frac{\Delta}{T_K} = \frac{2,2}{7 \cdot 10^6} = 3,1 \cdot 10^{-7} = 3,1 \cdot 10^{-5} \%, \quad (57)$$

Индивидуальный радиационный риск выражается средним сокращением продолжительности жизни одного человека:

$$70 \cdot \delta = 70 (\text{лет}) \cdot 3,1 \cdot 10^{-7} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{года} = 0,008 \text{дня} = 0,19 \text{часа} = 12 \text{мин}. \quad (58)$$

Это потери за один год, а за 20 лет они составят:

$$12 (\text{мин}) \cdot 20 = 240 \text{мин} = 6 \text{час}. \quad (59)$$

2 Задачи для самостоятельного решения

Задача 3

При работе на компьютере с катодно-лучевым дисплеем мощность дозы мягкого гамма- и рентгеновского излучения составляет в среднем 0,01 мЗв в год. Рассчитать индивидуальный радиационный риск при работе на компьютере на протяжении 20 лет. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 119

Из-за повышенного содержания естественных радионуклидов в глине в некотором кирпичном доме мощность дозы гамма-излучения составляет в среднем 50 микрорентген в час, или 0,5 мкЗв в час. Рассчитать индивидуальный радиационный риск проживания в таком доме, если человек находится в нем 12 часов в сутки 300 дней в году в течение 15 лет. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$. Рассчитать коллективный риск для жителей численностью 400 человек.

Задача 4

В непосредственной близости от ТЭС, работающей на каменном угле, мощность дозы гамма-излучения за счет выбросов естественных радионуклидов (находившихся в топливе и перешедших в продукты сгорания) в атмосферу составляет в среднем 0,06 мЗв в год. Рассчитать коллективный и индивидуальный радиационные риски для населения численностью 10 000 человек, проживающего в данной местности в течение 10 лет. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 5

Мощность дозы гамма-излучения на протяженном выходе биотитового гранита на земную поверхность равна 2,4 мЗв в год. На этом месте расположен жилой дом. Рассчитать коллективный и индивидуальный радиационные риски для 80 человек, проживающих в этом доме и работающих в данной местности в течение 10 лет. Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 6

Мощность дозы гамма - излучения в приповерхностном слое воздуха из-за загрязненной радионуклидами почвы равна 80 мкР/ч. Рассчитать коллективный и индивидуальный радиационные риски для 1500 человек, живущих и работающих в данной местности в течение 10 лет.

Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Задача 7

Средняя мощность дозы природного гамма-излучения на высоте полета пассажирских авиалайнеров составляет 50 мЗв в год (из-за влияния космического излучения). Рассчитать индивидуальный радиационный риск для человека, проведшего в салоне самолета 100 часов за 3 года.

Коэффициент индивидуального радиационного риска равен $7,3 \cdot 10^{-2} \text{чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

6. Сокращение продолжительности жизни в зависимости от условий труда и проживания

Неблагоприятные условия труда - условия труда, отягощенные вредными и опасными факторами производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

Ущерб здоровью - нарушения целостности организма или профессиональные заболевания, а также эффекты в виде генетических изменений, нарушений репродуктивной функции, снижения психической устойчивости.

Сокращение продолжительности жизни (СПЖ) - предположительное время сокращения продолжительности жизни в сутках конкретного человека на момент расчета в зависимости от условий его труда и быта.

Риск - вероятность реализации негативного воздействия (травма, гибель) в зоне пребывания человека.

При суточной миграции человека во вредных условиях жизненного пространства суммарная оценка ущерба здоровью может быть определена через подсчет времени сокращения продолжительности жизни в сутках по приближенной формуле:

$$\text{СПЖ} = \text{СПЖ}_{\Sigma\text{пр}} + \text{СПЖ}_{\text{Г}} + \text{СПЖ}_{\text{Б}}, \quad (1)$$

где – СПЖ_{пр}, СПЖ_Г, СПЖ_Б – сокращения продолжительности жизни при пребывании, соответственно, в условиях производства, города и быта, (сут).

Расчет снижения продолжительности жизни осуществляется:

1. По фактору неблагоприятных условий производства:

$$\text{СПЖ}_{\text{пр}} = (K_{\text{пр}} + K_{\text{Т}} + K_{\text{Н}}) \cdot (T - T_{\text{Н}}), \quad (2)$$

где – K_{пр}, K_Т, K_Н – ущерб здоровью на основании оценки класса условий производства, тяжести и напряженности труда, сут/год (таблицах 7.2. и 7.3);

T – возраст человека, год;

T_Н – возраст начала трудовой деятельности.

2. По фактору неблагоприятных жилищных бытовых условий и загрязненного воздуха в городе:

$$\text{СПЖ}_{\text{Б, Г}} = (K_{\text{Б}} + K_{\text{Г}}) \cdot T, \quad (3)$$

где - K_Б, K_Г – скрытый ущерб здоровью в условиях бытовой и городской среды, сут/год (таблице 7.4.);

3. По факту курения с учетом сомножителя (n/20):

$$\text{СПЖ}_{\text{Б (КУРЕНИЕ)}} = K_{\text{Б}} T_{\text{К}} \cdot (n/20), \quad (4)$$

где n – количество выкуриваемых сигарет в день;

T_К – стаж курильщика;

4. По фактору езды в общественном транспорте

$$\text{СПЖ}_{\text{Г (ТРАНСПОРТ)}} = K_{\text{Г}} T_{\text{Т}} t, \quad (5)$$

где T_Т – количество лет езды на работу в общественном транспорте;

t – суммарное количество часов, затрачиваемое человеком ежедневно на проезд домой и на работу в оба конца.

Расчет носит вероятностный характер и позволяет оценить влияние наиболее весомых факторов, характеризующих качество жизни конкретного человека.

6.1. Классификация условий труда по степени вредности и опасности

Условия труда подразделяются на 4 класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

Оптимальные условия труда (1 класс) - такие условия, при которых сохраняется здоровье работающих, и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности.

Допустимые условия труда (2 класс), при которых факторы не превышают установленных гигиенических нормативов для рабочих мест, а возможные изменения функционального состояния организма восстанавливаются во время отдыха или к началу следующей смены.

Вредные условия труда (3 класс) характеризуются наличием вредных производственных факторов, превышающих гигиенические нормативы и оказывающих неблагоприятное действие на организм работающего и/или его потомство.

Вредные условия труда по степени превышения гигиенических нормативов и выраженности изменений в организме работающих подразделяются на 4 степени вредности:

1 степень 3 класса (3.1.) - условия труда характеризуются такими отклонениями уровней вредных факторов от гигиенических нормативов, которые вызывают функциональные изменения, восстанавливающиеся при более длительном (чем к началу следующей смены) прерывании контакта с вредными факторами;

2 степень 3 класса (3.2.) - уровни вредных факторов, вызывающие стойкие функциональные изменения, приводящие к появлению начальных признаков

профессиональных заболеваний, возникающих после продолжительной экспозиции (часто после 15 и более лет);

3 степень 3 класса (3.3.) - условия труда, характеризующиеся такими уровнями вредных факторов, воздействие которых приводит к развитию профессиональных болезней легкой и средней степеней тяжести с временной утратой трудоспособности;

4 степень 3 класса (3.4.) - условия труда, при которых могут возникать тяжелые формы профессиональных заболеваний.

Опасные (экстремальные) условия труда (4 класс) характеризуются уровнями производственных факторов, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в том числе и тяжелых форм.

Градации условий труда в зависимости от степени отклонения действующих факторов производственной среды и трудового процесса от гигиенических нормативов представлена в таблицах 7.7. –7.9.

Уровни вредных воздействий, реально возможные в условиях производства, не ограничиваются значениями, соответствующими классу 3.4.

При более высоких значениях уровней вредных факторов их воздействие на человека может стать травмирующим класса 4. Пороговые значения таких уровней вредных факторов для класса 4 приведены в таблице 7.1.

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

Таблица 1. - Пороговые значения уровней вредных факторов для класса 4

Вредные факторы	Значение уровня
Вредные вещества 1-2 класса опасности	> 20 ПДК
Вредные вещества, опасные для развития острого отравления	> 10 ПДК
Шум, дБА	Превышение ПДУ > 35
Вибрация локальная, дБ	Превышение ПДУ > 12
Вибрация общая, дБ	Превышение ПДУ > 24
Тепловое облучение	> 2800 Вт/м ²
Электрические поля промышленной частоты	> 40 ПДУ
Лазерное излучение	> 10 ³ ПДУ при однократном воздействии

Нормативные значения вредных и опасных факторов приведены в справочной литературе.

6.1.1. Оценка влияния вредных факторов на здоровье человека

Воздействие вредных факторов на здоровье человека определяется их уровнями, совокупностью факторов и длительностью пребывания человека в этих зонах (таблица 1.- б).

Шкала оценки ущерба здоровью с учетом влияния возможных сочетаний вредных факторов и их уровней, тяжести и напряженности трудового процесса на здоровье работающих (таблица 2. и 3).

Таблица 2. - Скрытый ущерб здоровью на основании общей оценки класса условий труда

Фактические условия труда	Класс условий труда	Ущерб, суток за год К_{пр} (К_н)
1 фактор класса 3.1.	3.1.	2,5
2 фактора класса 3.1.	3.1.	3,75 +
3 и более факторов класса 3.1.	3.2	5,1
1 фактор класса 3.2.	3.2	8,75 +
2 и более факторов класса 3.2	3.3	12,6
1 фактор класса 3.3	3.3	18,75 +
2 и более факторов класса 3.3	3.4	25
1 фактор класса 3.4	3.4	50,0 +
2 и более факторов класса 3.4	4	75,1
Наличие факторов класса 4	4	75,1

Таблица 3. - Скрытый ущерб здоровью по показателю тяжести трудового процесса

Фактические условия труда	Класс условий труда	Ущерб, суток за год К_г
Менее 3 факторов класса 2	2	-
3 и более факторов класса 2	3.1	2,5
1 фактор класса 3.1	3.1	3,75
2 и более факторов класса 3.1	3.2	5.1
1 фактор класса 3.2	3.2	8,75
2 фактора класса 3.2	3.3	12.6
Более 2 факторов класса 3.2	3.3	18,75

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

1. Проводится оценка условий труда на рабочем месте по каждому негативному фактору, указанному в описании варианта, и устанавливается класс вредности условий труда (таблица 7 – 9);

2. Оценивается ущерб здоровью в виде сокращения продолжительности жизни $K_{пр}$ от класса условий труда на производстве по таблице 2;

3. При оценке ущерба здоровью только по показателю тяжести трудового процесса используют данные таблице 3;

4. При оценке ущерба здоровью только по показателю напряженности трудового процесса величину ущерба принимают по классу условий труда по данным таблице 2, указанным в графе со значком «+».

5. Учет влияния вредных факторов городской и бытовой сред на здоровье людей обычно проводится по упрощенным показателям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 - Скрытый ущерб здоровью по вредным факторам городской (К_г) и бытовой (К_б) среды, сутки/год

Факторы городской среды	К_г
Загрязнение воздуха в крупных городах	5
Езда в часы «пик» в общественном транспорте ежедневно	2

в течение 1 часа	
Факторы бытовой среды	K_6
Проживание в неблагоприятных жилищных условиях	7
Курение по 20 сигарет в день	50

6.1.2 Оценка влияния травмоопасных факторов на человека в производственных, городских и бытовых условиях.

Вероятность травмирования человека в различных условиях его жизнедеятельности оценивается величиной индивидуального риска R [4].

При использовании статистических данных величину риска определяют по формуле:

$$R = N_{\text{Тр}} / N_0, \quad (6)$$

где – $N_{\text{Тр}}$ - число травм за год;

N_0 -численность работавших в тот же период.

Травмоопасность различных производств и отраслей показателями частоты травматизма $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{си}}$ оценивают по формулам:

$$K_{\text{ч}} = (N_{\text{Тр}} / N_0) 1000 \quad (7)$$

$$K_{\text{си}} = (N_{\text{си}} / N_0) 1000, \quad (8)$$

где $K_{\text{ч}}$ - показатель частоты травматизма;

$K_{\text{си}}$ - показатель травматизма со смертельным исходом, приходящиеся на 1000 работающих;

$N_{\text{си}}$ - число травм со смертельным исходом за год.

Нетрудно видеть, что при известных $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{си}}$ риски получить травму $R_{\text{Тр}}$ или погибнуть на производстве $R_{\text{си}}$ будут определяться по формулам:

$$R_{\text{Тр}} = K_{\text{ч}} / 1000 \quad (9)$$

$$R_{\text{си}} = K_{\text{си}} / 1000 \quad (10)$$

По данным за 2012г. показатели $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{си}}$ в различных отраслях экономики и по отдельным профессиям сведены в таблицу 7.5.

Таблица 5 - Показатели $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{си}}$ в различных отраслях экономики и по отдельным профессиям

Отрасль, профессия	$K_{\text{ч}}$	$K_{\text{си}}$
По всем отраслям	5,0	0,15
Промышленность (в среднем)	5,5	0,133
Электроэнергетика	1,7	0,131
Электрические сети	2	0,211
Тепловые сети	3	0,132
Нефтепереработка	1,6	0,058
Химическая промышленность	3,1	0,104

Угольная промышленность	25,3	0,406
Черная металлургия	3,6	0,146
Цветная металлургия	4,5	0,216
Приборостроение	3,1	0,061
Автомобильная промышленность	4,6	0,069
Лесозаготовка	21,2	0,479
Лесопильное производство	16,7	0,246
Пищевая промышленность	6,0	0,122
Пивоварное производство	7,0	0,185
Спиртовая промышленность	2,3	0,029
Мясная и молочная промышленность	7,4	0,079
Сельское хозяйство	8,3	0,216
Транспорт	3,6	0,162
Железнодорожный	1,3	0,111
Водный	5,0	0,345
Авиационный	2,5	0,264
Строительство	5,3	0,312
Коммунальное хозяйство	3,2	0,037
Здравоохранение	2	0,009
Водитель	-	0,32
Электросварщик	-	0,20
Газосварщик	-	0,21
Грузчик	-	0,18
Слесарь	-	0,11
Крановщик	-	0,14

Риск принудительной гибели людей в непроизводственных условиях R_B , R_T можно приближенно оценивать, пользуясь данными, приведенными в таблице 6.

Вычисление вероятности гибели человека в цепи несовместимых событий производится по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n \cdot R_i, \quad (11)$$

где R_i - вероятность индивидуального события;

R - суммарный риск от n последовательных событий

6.3 Градации условий труда

Градации условий труда в зависимости от степени отклонения действующих факторов производственной среды и трудового процесса от гигиенических нормативов:

Таблица 6 - Риск принудительной гибели людей в непроизводственных условиях

Причина	Риск гибели человека
Автокатастрофа	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Авиакатастрофа	$1 \cdot 10^{-5}$
Электротравма	$6 \cdot 10^{-6}$
Падение человека	$1 \cdot 10^{-4}$
Падение предметов на человека	$6 \cdot 10^{-6}$
Воздействие пламени	$4 \cdot 10^{-5}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$

Авария на АЭС (на границе территории АЭС)	$5 \cdot 10^{-7}$
Природные явления (молнии, ураганы и пр.)	$10^{-6} - 10^{-7}$

Таблица 7 - Классы условий труда в зависимости от условий труда

Фактор рабочей среды	Класс условий труда					
	1 оптимальный	2 допустимый	3.1 вредный 1 степени	3.2 вредный 2 степени	3.3.вредный 3 степени	3.4.вредный 4 степени
Температура воздуха на рабочем месте, °С: теплый период холодный период	18...20 20...22	21...22 17...19	23-28 15...16	29-32 7...14	33-35 Ниже +7	>35 -
Токсичное вещество, кратность превышения ПДК, раз	-	≤ 1	1,0-2,5	2,6-4,0	4,0-6,0	>6
Промышленная пыль, кратность превышения ПДК, раз	-	≤ 1,0	1-5	6-10	11-30	> 30
Вибрация, превышение ПДУ, дБ	Ниже ПДУ	На уровне ПДУ	1-3	4-6	7-9	> 9
Промышленный шум, превышение ПДУ, дБ	< 1	Равно ПДУ	1-5	6-10	> 10	> 10 с вибрацией
Ультразвук, превышение ПДУ, дБ	< 1	Равно ПДУ	1-5	6-10	11-20	> 20
Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	≤ 140	141-1000	1001-1500	1501-2000	2001-2500	>2500
Освещенность рабочего места, лк: Мин. объект различ., мм Разряд работы	> 1 5-9	1,0...0,3 3-4	< 0,3 1-2	> 0,5 4-9	< 0,5 1-3	- -

Таблица 8 - Классы условий труда по показателям тяжести трудового процесса

Показатели тяжести трудового процесса	Классы условий труда			
	Оптимальный (легкая физическая нагрузка)	Допустимый (средняя физическая нагрузка)	Вредный (тяжелый труд)	
			1 степени	2 степени
1	2	3	4	5
1. Физическая динамическая нагрузка (единицы внешней механической работы за смену, кг · м)				

1.1. При региональной нагрузке (с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса) при перемещении груза на расстояние до 1 м: для мужчин для женщин	до 2 500 до 1 500	до 5 000 до 3 000	до 7 000 до 4 000	более 7000 более 4000
1.2. При общей нагрузке (с участием мышц рук, корпуса, ног):				
1.2.1. При перемещении груза на расстояние от 1 до 5 м для мужчин для женщин	до 12 500 до 7 500	до 25 000 до 15 000	до 35 000 до 25 000	более 35000 более 25000
1.2.2. При перемещении груза на расстояние более 5 м для мужчин для женщин	до 24 000 до 14 000	до 46 000 до 28 000	до 70 000 до 40 000	более 70000 более 40000
2. Масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную (кг)				
2.1. Подъем и перемещение (разовое) тяжести при чередовании с другой работой (до 2 раз в час): для мужчин для женщин	до 15 до 5	до 30 до 10	до 35 до 12	более 35 более 12
2.2. Подъем и перемещение (разовое) тяжести постоянно в течение рабочей смены: для мужчин для женщин	до 5 до 3	до 15 до 7	до 20 до 10	более 20 более 10
2.3. Суммарная масса грузов, перемещаемых в течение каждого часа смены:				
2.3.1. С рабочей поверхности для мужчин для женщин	до 250 до 100	до 870 до 350	до 1500 до 700	более 1500 более 700
2.3.2. С пола для мужчин для женщин	до 100 до 50	до 435 до 175	до 600 до 350	более 600 более 350
3. Стереотипные рабочие движения (количество за смену)				

3.1. При локальной нагрузке (с участием мышц кистей и пальцев рук)	до 20 000	до 40 000	до 60 000	более 60 00
3.2. При региональной нагрузке (при работе с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса)	до 10 000	до 20 000	до 30 000	более 30 000
4. Статическая нагрузка - величина статической нагрузки за смену при удержании груза, приложении усилий (кгс -с)				
4.1. Одной рукой: для мужчин для женщин	до 18 000 до 11 000	до 36 000 до 22 000	до 70 000 до 42 000	более 70 000 более 42 000
4.2. Двумя руками: для мужчин для женщин	до 36 000 до 22 000	до 70 000 до 42 000	до 140000 до 84 000	более 140000 более 84 000
4.3. С участием мышц корпуса и ног: для мужчин для женщин	до 43 000 до 26 000	до 100 000 до 60 000	до 200000 до 120 000	более 200000 более 120000
5. Рабочая поза				
5.1. Рабочая поза	Свободная, удобная поза, возможность смены рабочего положения тела (сидя, стоя). Нахождение в позе стоя до 40% времени смены.	Периодическое, до 25 % времени смены, нахождение в неудобной (работа с поворотом туловища, неудобным размещением конечностей и др.) и/или фиксированной позе (невозможность изменения взаимного положения различных частей тела относительно друг друга). Нахождение в	Периодическое, до 50 % времени смены, нахождение в неудобной и/или фиксированной позе; пребывание в вынужденной позе (на коленях, на корточках и т. п.) до 25 % времени смены. Нахождение в позе стоя до 80 % времени смены	Периодическое, более 50% времени смены нахождение в неудобной и/или фиксированной позе; пребывание в вынужденной позе (на коленях, на корточках и т. п.) более 25 % времени смены. Нахождение в позе стоя более 80 % времени смены.

		позе стоя до 60 % времени смены.		
6. Наклоны корпуса				
6.1. Наклоны корпуса (вынужденные более 30°), количество за смену	до 50	51 –100	101 –300	свыше 300
7. Перемещения в пространстве, обусловленные технологическим процессом				
7.1. По горизонтали	до 4	до 8	до 12	более 12
7.2. По вертикали	до 1	до 2,5	до 5	более 5

**Таблица 9 - Классы условий труда по показателям напряженности
трудового процесса**

Показатели напряженности трудового процесса	Классы условий труда			
	Оптимальный (напряженность труда легкой степени)	Допустимый (напряженност ь труда средней степени)	Вредный (напряженный труд)	
			1 степени	2 степени
1	2	3	4	5
1. Интеллектуальные нагрузки:				
1.1. Содержание работы	Отсутствует необходимость принятия решения	Решение простых задач по инструкции	Решение сложных задач с выбором по известным алгоритмам (работа по серии инструкций)	Эвристическая (творческая) деятельность, требующая решения алгоритма, единоличное руководство в сложных ситуациях
1.2. Восприятие сигналов (информации) и их оценка	Восприятие сигналов, но не требуется коррекция действий	Восприятие сигналов с последующей коррекцией действий и операций	Восприятие сигналов с последующим сопоставле- нием фактических значений параметров с их номинальным и значениями. Заключитель- ная оценка	Восприятие сигналов с последующей комплексной оценкой связанных параметров. Комплексная оценка всей производственн ой деятельности

			фактических значений параметров	
1.3. Распределение функций по степени сложности задания	Обработка и выполнение задания	Обработка, выполнение задания и его проверка	Обработка, проверка и контроль за выполнением задания	Контроль и предварительная работа по распределению заданий другим лицам.
1.4. Характер выполняемой работы	Работа по индивидуальному плану	Работа по установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности	Работа в условиях дефицита времени	Работа в условиях дефицита времени и информации с повышенной ответственностью за конечный результат
2. Сенсорные нагрузки				
2.1. Длительность Сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	до 25	26 –50	51 –75	более 75
2.2. Плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в среднем за 1 час работы	до 75	76 –175	176 –300	более 300
2.3. Число производственных объектов одновременного наблюдения	до 5	6 –10	11 –25	более 25
2.4. Размер объекта различия (при расстоянии от глаз работающего до объекта различия не более 0,5 м) в мм при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	более 5 мм - 100%	5 - 1,1 мм - более 50 %; 1 - 0,3 мм - до 50 %; менее 0,3 мм - до 25 %	1 -0,3 мм - более 50 %; менее 0,3 мм - 26 - 50 %	менее 0,3 мм - более 50 %
2.5. Работа с оптическими приборами				

(микроскопы, лупы и т.п.) при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	до 25	26 –50	51 –75	более 75
2.6. Наблюдение за экранами видеотерминалов (часов в смену): при буквенно-цифровом типе информации: при графическом типе отображения информации:	до 2 до 3	до 3 до 5	до 4 до 6	более 4 более 6
2.7. Нагрузка на слуховой анализатор (при производственной необходимости восприятия речи или дифференцированных сигналов)	Разборчивость слов и сигналов от 100 до 90 %. Помехи отсутствуют	Разборчивость слов и сигналов от 90 до 70 %. Имеются помехи, на фоне которых речь слышна на расстоянии до 3,5 м	Разборчивость слов и сигналов от 70 до 50 %. Имеются помехи, на фоне которых речь слышна на расстоянии до 2 м	Разборчивость слов и сигналов менее 50 %. Имеются помехи, на фоне которых речь слышна на расстоянии до 1,5 м
2.8. Нагрузка на голосовой аппарат (суммарное количество часов, наговариваемое в неделю)	до 16	до 20	до 25	более 25
3. Эмоциональные нагрузки				
3.1. Степень ответственности за результат собственной деятельности. Значимость ошибки	Несет ответственность за выполнение отдельных элементов заданий. Влечет за собой дополнительные усилия в работе со стороны работника	Несет ответственность за функциональное качество вспомогательных работ (заданий). Влечет за собой дополнительные	Несет ответственность за функциональное качество основной работы (задания). Влечет за собой исправления за счет дополнительных	Несет ответственность за функциональное качество конечной продукции, работы, задания. Влечет за собой повреждение оборудования, остановку технологического

		усилия со стороны вышестоящего руководства (бригадира, мастера и т.п.)	ых усилий всего коллектива (группы, бригады и т.п.)	о процесса и может возникнуть опасность для жизни
3.2. Степень риска для собственной жизни	Исключена			Вероятна
3.3. Степень ответственности за безопасность других лиц	Исключена			Возможна
3.4. Количество конфликтных ситуаций, обусловленных профессиональной деятельностью, за смену	Отсутствуют	1 – 3	4 – 8	Более 8
4. Монотонность нагрузок				
4.1. Число элементов (приемов), необходимых для реализации простого задания или в многократно повторяющихся операциях	более 10	9 – 6	5 – 3	менее 3
4.2. Продолжительность (в с) выполнения простых заданий или повторяющихся операций	более 100	100 – 25	24 – 10	менее 10
4.3. Время активных действий (в % к продолжительности и смены). В остальное время – наблюдение за ходом производственного процесса	20 и более	19 – 10	9 – 5	менее 5
4.4. Монотонность производственной обстановки (время	менее 75	76 – 80	81 – 90	более 90

пассивного наблюдения за ходом техпроцесса в % от времени смены)				
5. Режим работы				
5.1. Фактическая продолжительность рабочего дня	6 –7 ч	8 –9 ч	10 –12 ч	более 12 ч
5.2. Сменность работы	Односменная работа (без ночной смены)	Двухсменная работа (без ночной смены)	Трёхсменная работа (работа в ночную смену)	Нерегулярная сменность с работой в ночное время
5.3. Наличие регламентированных перерывов и их продолжительность	Перерывы регламентированы, достаточной продолжительности: 7 % и более рабочего времени	Перерывы регламентированы, недостаточной продолжительности: от 3 % до 7% рабочего времени	Перерывы не регламентированы и недостаточной продолжительности: до 3 % рабочего времени	Перерывы отсутствуют

6.4. Порядок выполнения задания

1. Внимательно изучите вариант задания, таблица 10.
 2. Определите класс условий труда в соответствии с заданием по таблицам 7 -9
 3. Проведите количественную оценку ущерба здоровью при работе в неблагоприятных условиях труда по таблицам 2. и 3, а также жизни в городе и в быту по таблице 4.
 4. Оцените риск получения травмы
- $R_{тр}$ или риск гибели на производстве $R_{си}$, согласно формулам (8) и (9), зная величины $K_ч$ и $K_{си}$ из таблицы 5, а риск гибели в производственных условиях $R_б$, $R_г$ из таблицы 6.
5. Сделайте выводы и предложите рекомендации по увеличению СПЖ и снижению риска $R_{тр}$ и $R_{си}$.

6.5 Пример решения задачи

Задача 1

Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели сотрудника вычислительного центра, 48лет. Работает с 23 лет. Курит с 17лет по 25 сигарет в день. Живет далеко от ВЦ, добирается до места работы на общественном транспорте за 50 мин.

Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, C^0 – 20. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм-<0,3; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа–5. РМ стационарное, поза свободная. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч–6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –60. Обоснованный режим труда и отдыха с применением функциональной музыки и

гимнастики. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану и общения с людьми.

Решение:

Цель работы: определить величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели мастера, работающего и живущего в определенных условиях техносферы.

6.5.1. Классификация условий труда

Используя данные варианта и таблицы 7-9. (Градации условий труда в зависимости от степени отклонения действующих факторов производственной среды и трудового процесса от гигиенических нормативов), заполним таблицу 10.

Таблица 10 - Итоговая таблица по оценке условий труда работника по степени вредности и опасности, тяжести и напряженности

Класс условий труда							
Фактор	Оптимальный	Допустимый	Вредный				Опасный
			4	5	6	7	
1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3.1.	3.2	3.3	3.4	4
Температура воздуха на РМ в теплый период года, С ⁰ – 20.	18-20						
Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм <0,3; разряд зрительной работы –2.		< 0,3 Разряд - 2					
Превышение допустимого уровня звука, дБА–5.			1-5				
РМ стационарное, поза свободная	РМ стационарное, поза свободная						
Работа в две смены		Две смены					
Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6.	< 8						
Длительность			51				

сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –60.			- 75				
Обоснованный режим труда и отдыха с применением функциональной музыки и гимнастики.	Перерывы регламентированы, достаточной продолжительности : 7% и более рабочего времени.						
Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану и общения с людьми Несет ответственность за качество основного задания.			Влечет за собой исправления за счет дополнительных усилий всего коллектива				

Согласно проведенной оценке условий труда работника по степени вредности и опасности, тяжести и напряженности в таблице 10, количественные данные итоговой таблицы, следующие:

1. Классов условий труда 1 (оптимальных) –4;
2. Классов условий труда 2 (допустимых) –2;
3. Классов условий труда 3.1. (вредных, первой степени) –3.

Таким образом, в результате анализа полученных количественных данных итоговой таблицы (три фактора класса 3.1.), принимаем, что класс условий труда по факторам производственной среды – 3.2.

7.5.2 Оценка влияния вредных факторов на здоровье человека

При суточной миграции человека во вредных условиях жизненного пространства суммарная оценка ущерба здоровью может быть определена через подсчет времени сокращения продолжительности жизни в сутках по формуле (12)

$$СПЖ = СПЖ_{\Sigma пр} + СПЖ_{Г} + СПЖ_{Б}, \quad (12)$$

где СПЖ_{пр} СПЖ_Г СПЖ_Б – сокращения продолжительности жизни при пребывании, соответственно, в условиях производства, города и быта (сут.).

Для этого необходимо рассчитать СПЖ:

1. По фактору неблагоприятных условий производства по формуле (13):

$$\text{СПЖ}_{\text{пр}} = (K_{\text{пр}} + K_{\text{т}} + K_{\text{н}}) \cdot (T - T_{\text{н}}), \quad (13)$$

где $K_{\text{пр}}$, $K_{\text{т}}$, $K_{\text{н}}$ – ущерб здоровью на основании оценки класса условий производства, тяжести и напряженности труда, сут/год (таблица 2 и 3);

T – возраст человека, год;

$T_{\text{н}}$ – возраст начала трудовой деятельности.

В нашем случае:

$$\text{СПЖ} = (5,1 + 5,1) \cdot (48 - 23) = 255 \text{ сут.} \quad (14)$$

2. По фактору неблагоприятных жилищных бытовых условий и загрязненного воздуха в городе по формуле (7.15):

$$\text{СПЖ}_{\text{Б, Г}} = (K_{\text{Б}} + K_{\text{Г}}) \cdot T, \quad (15)$$

где $K_{\text{Б}}$, $K_{\text{Г}}$ – скрытый ущерб здоровью в условиях бытовой и городской среды, сут/год (таблица 7.4);

В нашем случае:

$$\text{СПЖ}_{\text{Б, Г}} = (5 + 2 + 50) \cdot 48 = 2736 \text{ сут.} \quad (16)$$

По факту курения с учетом множителя ($n/20$) по формуле 7.17:

где n – количество выкуриваемых сигарет в день;

$$\text{СПЖ}_{\text{Б (курение)}} = K_{\text{Б}} T_{\text{К}} \cdot (n/20), \quad (17)$$

где $\text{СПЖ}_{\text{пр}}$, $\text{СПЖ}_{\text{Г}}$, $\text{СПЖ}_{\text{Б}}$ – сокращения продолжительности жизни при пребывании, соответственно, в условиях производства, города и быта (сут.).

$T_{\text{К}}$ – стаж курильщика;

В нашем случае:

$$\text{СПЖ}_{\text{Б (курение)}} = 50 \cdot 31 \cdot (25/20) = 1937,5 \text{ сут.} \quad (18)$$

По фактору езды в общественном транспорте по формуле 7.19

$$\text{СПЖ}_{\text{Г (транспорт)}} = K_{\text{Г}} T_{\text{Т}} t, \quad (19)$$

где $T_{\text{Т}}$ – количество лет езды на работу в общественном транспорте;

t – суммарное количество часов, затрачиваемое человеком ежедневно на проезд домой и на работу в оба конца.

В нашем случае:

$$\text{СПЖ}_{\text{Г (транспорт)}} = 2 \cdot 25 \cdot 1,4 = 70 \text{ сут.} \quad (20)$$

$$\text{СПЖ} = 255 + 2736 + 1937,5 + 70 = 4998,5 \text{ сут. (13 лет).} \quad (21)$$

Расчет носит вероятностный характер и позволяет оценить влияние наиболее весомых факторов, характеризующих качество жизни конкретного человека.

6.5.3 Оценка влияния травмоопасных факторов на человека в производственных, городских и бытовых условиях.

Вероятность травмирования человека в различных условиях его жизнедеятельности оценивается величиной индивидуального риска R . При использовании статистических данных величину риска $1/(\text{чел.год})$ определяют по формуле 22:

$$R = N_{\text{тр}} / N_{\text{о}}, \quad (22)$$

где $N_{\text{тр}}$ - число травм за год;

$N_{\text{о}}$ - численность работавших в тот же период.

Травмоопасность различных производств и отраслей показателями частоты травматизма $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{си}}$ оценивают по формулам 7.23 и 7.24:

$$K_{\text{ч}} = (N_{\text{тр}} / N_{\text{о}}) 1000, \quad (23)$$

$$K_{\text{СИ}} = (N_{\text{СИ}} / N_0) \cdot 1000, \quad (24)$$

где $K_{\text{ч}}$ - показатель частоты травматизма;

$K_{\text{СИ}}$ - показатель травматизма со смертельным исходом, приходящиеся на 1000 работающих;

$N_{\text{СИ}}$ - число травм со смертельным исходом за год.

При известных $K_{\text{ч}}$ и $K_{\text{СИ}}$ риски получить травму $R_{\text{тр}}$ или погибнуть на производстве $R_{\text{СИ}}$ будут определяться по формулам 5.9 и 5.10:

$$R_{\text{тр}} = K_{\text{ч}} / 1000 \quad (25)$$

$$R_{\text{СИ}} = K_{\text{СИ}} / 1000 \quad (26)$$

В нашем случае, используя таблицы 7.5 и 7.6. находим, что:

$$K_{\text{ч}} = 5,0 \quad (27)$$

$$K_{\text{СИ}} = 0,15 \quad (28)$$

Тогда вычисление вероятности гибели человека в цепи несовместимых событий производится по формуле 7.29:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad (29)$$

где R_i - вероятность индивидуального события;

R - суммарный риск от n последовательных событий.

Следовательно: $R_{\text{тр}} = 0,0055$ (7.30)

$$R_{\text{СИ}} = 0,00015 \quad (31)$$

$$R_{\text{б}} = 0 \quad (32)$$

$$R_{\text{г}} = 2,5 \cdot 10^{-4} \quad (33)$$

$$R_{\Sigma} = 0,0055 + 0,00015 + 0 + 0,00025 = 5 \cdot 10^{-3} \quad (34)$$

Вывод:

По условиям классификации, условия труда сотрудника вычислительного центра относятся к классу 3.2.–вредные, второй степени. Величина сокращения продолжительности жизни зависит не только от производственных условий, но и городских и бытовых. В нашем случае СПЖ= 4998,5 сут., т.е. жизнь сотрудника при данных условиях жизни может сократиться на 13лет. Эти данные можно было бы улучшить (сократить), если бы сотрудник ходил пешком, бросил курить, соблюдал правила ТБ на работе, в домашних и городских условиях.

6.6 Задача для самостоятельного решения и исходные данные

Задача 2

Условия задачи 125 и исходные данные располагаются в таблице 11

Таблица 1 – Исходные данные задачи 2

1	2
Вариант 1	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели мастера (инженера) участка виброуплотнения и термообработки стержневых смесей литейного цеха.</p> <p>Условия на рабочем месте: Вентиляция в цехе работает не</p>

	<p>эффективно. Печи электрические, работают на частоте 3,0 МГц с интенсивностью поля, превышающей нормы > 5 раз. Вибрация на рабочем месте мастера превышает допустимую на 12 дБ. Уровень шума превышает допустимый на 15 дБА. Напряженность электрической составляющей превышает предельно допустимый уровень в 3 раза, так как печь старая и отсутствует экранирование индуктора. Интенсивность теплового потока на рабочем месте 1,05 кВт/м² (норма 0,35 кВт/м²). Запыленность алюминиевой, магниевой пылью (2 класс опасности), загазованность воздуха рабочей зоны парами аммиака, ацетона, окисью углерода (3 класс опасности) в среднем превышает ПДК в 7 раз. Мастер живет за городом, куда добирается на электричке и автобусе в течение 1,5 часа. Дом его расположен около железнодорожного переезда и уровень инфразвука (ИЗ) от маневровых паровозов в доме в ночное время превышает ПДУ на 10 дБ. Ему 60 лет, из них 45 лет он курит и выкуривает в среднем по 12 сигарет в день.</p>
<p>Вариант 2</p>	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели инженера –разработчика, 56 лет, металлургического завода. Стаж работы –26 лет. Время езды на общественном транспорте (метро, троллейбус) до места работы –1 ч. Выкуривает 15 сигарет в день в течение 25 лет.</p> <p>Условия на рабочем месте: Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм <3; разряд зрительной работы -2. Превышение допустимого уровня звука, дБа -2. РМ стационарное, поза свободная. Масса перемещаемых грузов – до 5 кг. Продолжительность рабочего времени –8 ч. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч -6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –35. Обоснованный режим труда и отдыха с применением функциональной музыки и гимнастики. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану.</p>
<p>Вариант 3</p>	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели оператора ПЭВМ, 29 лет, лаборатории механического завода. Стаж работы – 5 лет. Время езды на общественном транспорте (маршрутное такси) до места работы – 0,6 ч. Выкуривает 20 сигарет в день в течение 12 лет.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰ -24. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм < 3; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа -2. РМ стационарное, поза несвободная –до 20% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч -8. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –70. Число важных объектов наблюдения –2. Число движений пальцев в час –2600. Монотонность: число приемов в операции –3; длительность повторяющихся операций, с –20. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки и гимнастики. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану.</p>

Вариант 4	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели оператора станда контроля авиационных двигателей –60 лет. Работает с 40 лет. Курит с 17 лет по 15 сигарет в день. Живет за городом, ездит на работу на метро и троллейбусе -2 часа.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰-26-27. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм - >1; разряд зрительной работы –3. Превышение допустимого уровня звука, дБа –6. РМ стационарное, поза несвободная –до 20% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –8. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –40. Число важных объектов наблюдения –5. Вибрация, превышение ПДУ, дБ –4. Число движений пальцев в час –100. Монотонность: число приемов в операции -3; длительность повторяющихся операций, с –35. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану с возможностью коррекции. Токсическое вещество, кратность превышения ПДК –2.</p>
Вариант 5	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели монтажника печатных плат, 45 лет, механического завода. Стаж работы –25 лет. Добирается до работы пешком за 0,7 ч через ж/д пути, автомобильные переезды. Не курит.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–23. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм –0,5; разряд зрительной работы –3. Превышение допустимого уровня звука, дБа –5. РМ стационарное, поза свободная. Масса перемещаемых грузов –до 5 кг. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –80. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану. Токсическое вещество (пары свинца) - кратность превышения ПДК -2,2.</p>
Вариант 6	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели сотрудника вычислительного центра, 47 лет. Работает с 23 лет. Курит с 25 лет по 20 сигарет в день. Живет далеко от ВЦ, добирается к месту работы на велосипеде за 1,6 часа.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–21. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм - <0,3; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа –5. РМ стационарное, поза свободная. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –95. Обоснованный режим труда и отдыха с применением функциональной музыки и гимнастики. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану и общения с людьми.</p>
Вариант 7	Оператор гибкого автоматизированного комплекса. Живет

	<p>оператор в крупном городе, домой добирается на метро за 40 минут, курит по 10 сигарет в день в течение 30 лет. Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут), а также величину риска гибели оператора, которому 48 лет.</p> <p>Условия на рабочем месте: РМ оснащено компьютером буквенно-цифрового типа, на котором он работает более 4 час за смену, и пультом управления с большим числом контрольно-измерительных шкальных приборов. Оператор постоянно, с длительностью сосредоточенного наблюдения более 45% от времени смены, обрабатывает информацию, внося коррекцию в работу комплекса. При этом он несет полную ответственность за функциональное качество вспомогательных работ, а также за обеспечение непрерывного производственного процесса. Обеспечение последнего зависит от оперативного принятия управленческих решений. Работа комплекса связана с механической высокоскоростной обработкой высоколегированных сталей. Работа 2-х сменная с ночной сменой. Продолжительность смены 10 часов. Помещение комплекса с пультом управления не имеет окон, в нем предусмотрена общеобменная вытяжная вентиляция.</p>
Вариант 8	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели инженера –исследователя в центральной заводской лаборатории, 45 лет. Стаж работы –25 лет. Курит с 22 лет по 25 сигарет в день. Живет за городом, в экологически чистом районе. Добирается к месту работы на велосипеде за 1,2 ч.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, C^0–25-26. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм –0,45; разряд зрительной работы –3. Превышение допустимого уровня звука, дБа –10. РМ стационарное, поза несвободная –до 50% времени в наклонном положении. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –60. Число важных объектов наблюдения –7. Число движений пальцев в час 120. Монотонность: число приемов в операции -7; длительность повторяющихся операций, с -60. Отсутствие обоснованного режима труда и отдыха. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану.</p>
Вариант 9	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели 50-летнего инженера, поступившего работать мастером окрасочного цеха завода в 25 лет. Курит 25 лет по 20 сигарет в день.</p> <p>Условия на рабочем месте: Содержание в составе лакокрасочного аэрозоля токсичных веществ -стирола, фенола, формальдегида составляет 15 ПДК. Уровни шума при пневматической окраске превышают ПДУ на 26 дБа, освещенность в цехе из-за постоянного наличия лакокрасочного тумана составляет меньше $0,5 \cdot E_{нор}$; уровень статического электричества при окраске с помощью центробежной электростатической установки УЭРЦ -1 составляет < 5 ПДУ. Степень ответственности за окончательный результат работы (боязнь остановки техпроцесса, возможность возникновения опасных ситуаций для жизни людей и др.). Дефицит времени по напряженности труда. Живет инженер в районе завода.</p>

Вариант 10	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели 55-летнего инженера, работающего мастером на деревообрабатывающем заводе. Живет инженер далеко от завода и на дорогу на общественном транспорте (автобус) тратит 1,5 ч. Не курит.</p> <p>Условия на рабочем месте: Содержание в составе лакокрасочного аэрозоля токсичных веществ -стирола, фенола, формальдегида составляет 10 ПДК. Уровни шума при пневматической окраске превышают ПДУ на 25 дБА, освещенность в цехе из-за постоянного наличия лакокрасочного тумана составляет меньше 0,5 E_{нор}; уровень статического электричества при окраске с помощью центробежной электростатической установки УЭРЦ -1 составляет < 3 ПДУ. Степень ответственности за окончательный результат работы (боязнь остановки техпроцесса). Дефицит времени по напряженности труда.</p>
Вариант 11	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели оператора дисплея автоматической линии по производству изделий механической обработкой, 34 года. Механический завод, цех. Стаж работы –11 лет. Живет рядом с заводом, ходит пешком. Курит по 25 сигарет в день.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–19-20. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм –1; разряд зрительной работы – 4. Превышение допустимого уровня звука, дБа –5. РМ стационарное, поза несвободная –до 20% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –4. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –45. Число важных объектов наблюдения –8. Число движений пальцев в час –120. Монотонность: число приемов в операции –6; длительность повторяющихся операций, с –20. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану. Промышленная пыль, кратность превышения ПДК –1,5.</p>
Вариант 12	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели оператора дисплея в промышленном производстве, 44 лет. Работает с 22 лет. Курит с 16 лет по 15 сигарет в день. Живет далеко от центра. Рядом находится автозаправочная станция. На работу ездит на маршрутном такси. Время в пути -40 мин.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰-19-20. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм -<0,3; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа –2. РМ стационарное, поза несвободная –до 20% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –60. Число важных объектов наблюдения –6. Число движений пальцев в час –100. Вредное вещество (тетрабромэтан), кратность превышения ПДК –1,3. Монотонность: число приемов в операции –6; длительность повторяющихся операций, с –20. Обоснованный режим</p>

	<p>труда и отдыха без применения функциональной музыки. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану. Промышленная пыль, кратность превышения ПДК –3.</p>
Вариант 13	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни маляра -женщины, которая окрашивает промышленные изделия с помощью краскопульта, весом 1,8 кгс, в течение 80% времени смены, т.е. 23040 с, при этом она выполняет около 30 движений с большой амплитудой в минуту. Живет работница рядом с хлебозаводом, который работает круглосуточно. Системы вентиляции создают в ночное время уровни шума, превышающие ПДУ на 25 дБА. Добирается домой на двух видах городского транспорта в течение 1 часа 15 мин. Она курит в течение уже 20 лет, в среднем по 15 сигарет в день, ей 55 лет, рабочий стаж 35.</p>
Вариант 14	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели инженера, работающего на установке для определения плотности металла, 36 лет. Живет за городом, добирается к месту работы на автобусе и троллейбусе –1,2 ч. Курит 10 сигарет в день в течение 15 лет. Стаж работы –13 лет.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–22. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм < 0,3; разряд зрительной работы –1. Превышение допустимого уровня звука, дБа –3. РМ стационарное, поза вынужденная –до 50% времени смены. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –5. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –40. Вредное вещество (тетрабромэтан), кратность превышения ПДК –1,3. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по заданному плану с возможной коррекцией.</p>
Вариант 15	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели оператора стенда контроля выхлопных газов автобазы, 38 лет. Живет недалеко от работы, по маршруту движения – оживленная автомагистраль.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–27. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм > 1; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа –15. РМ стационарное, поза несвободная –до 30% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –8. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –30. Число важных объектов наблюдения –3. Вибрация, кратность превышения ПДУ, дБ –5. Монотонность: число приемов операции –3; длительность повторяющихся операций, с –45. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану с возможностью коррекции. Токсическое вещество ПДК –3.</p>
Вариант 16	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели мастера (инженера) участка виброуплотнения и термообработки стержневых смесей литейного цеха. Мастер живет за городом, куда добирается на электричке и автобусе в течение 2 часа. Дом его расположен около</p>

	<p>железнодорожного переезда и уровень инфразвука (ИЗ) от маневровых паровозов в доме в ночное время превышает ПДУ на 10 дБ. Ему 48 лет, из них 25 лет он курит и выкуривает в среднем по 20 сигарет в день.</p> <p>Условия на рабочем месте: Вентиляция в цехе работает не эффективно. Печи электрические, работают на частоте 3,0 МГц с интенсивностью поля, превышающей нормы > 5 раз. Вибрация на рабочем месте мастера превышает допустимую на 12 дБ. Уровень шума превышает допустимый на 15 дБА. Напряженность электрической составляющей превышает предельно допустимый уровень в 3 раза, так как печь старая и отсутствует экранирование индуктора. Интенсивность теплового потока на рабочем месте 1,05 кВт/м² (норма 0,35 кВт/м²). Запыленность алюминиевой, магниевой пылью (2 класс опасности), загазованность воздуха рабочей зоны парами аммиака, ацетона, окисью углерода (3 класс опасности) в среднем превышает ПДК в 7 раз.</p>
Вариант 17	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни (сут) и величину риска гибели оператора дисплея в промышленном производстве, 36 лет. Работает с 22 лет. Не курит. Живет недалеко от центра. Рядом находится завод металлолитографии. На работу ходит пешком.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰-19-20. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм -<0,3; разряд зрительной работы-2. Превышение допустимого уровня звука, дБа -2. РМ стационарное, поза несвободная -до 20% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч -4. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены -70. Число важных объектов наблюдения -6. Число движений пальцев в час -120. Вредное вещество (тетрабромэтан), кратность превышения ПДК -1,3. Монотонность: число приемов в операции -6; длительность повторяющихся операций, с -20. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану. Промышленная пыль, кратность превышения ПДК -2.</p>
Вариант 18	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни маляра -женщины, которая окрашивает промышленные изделия с помощью краскопульта, весом 1,8 кгс, в течение 80% времени смены, т.е. 23040 с, при этом она выполняет около 30 движений с большой амплитудой в минуту. Живет работница рядом с молокозаводом, который работает круглосуточно. Системы вентиляции создают в ночное время уровни шума, превышающие ПДУ на 30 дБА. Добирается домой на двух видах городского транспорта в течение 1 часа . Она курит в течение уже 10 лет, в среднем по 20 сигарет в день, ей 55 лет, работает с 18 лет.</p>
Вариант 19	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни оператора при работе с электронным микроскопом, 56 лет . Стаж работы 30 лет. Курит по 25 сигарет в день в течение 35 лет. Живет в экологически неблагоприятном районе, далеко от места работы. Добирается к месту работы на личном автомобиле за 1,3 часа.</p>

	<p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, C^0–24-25. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм –0,5; разряд зрительной работы –3. Статическая физическая нагрузка на две руки, H^*c –5 x 10⁵. РМ стационарное, поза свободная. Работа в утреннюю смену. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч–4. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –65. Отсутствие обоснованного режима труда и отдыха. Нервно-эмоциональная нагрузка обусловлена тревогой за безопасность другого человека.</p>
Вариант 20	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели сотрудника вычислительного центра, 33 лет. Работает с 23 лет. Курит с 15 лет по 20 сигарет в день. Живет недалеко от ВЦ, добираться к месту работы на велосипеде за 15 минут.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, C^0–20. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм - <0,3; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа –5. РМ стационарное, поза свободная. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –95. Обоснованный режим труда и отдыха с применением функциональной музыки и гимнастики. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану и общения с людьми.</p>
Вариант 21	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели оператора установки контроля давления в системе, 61 года. Работает с 20 лет. Не курит. Живет около завода в экологически неблагоприятном районе. На работу ходит пешком. Время движения –25 мин.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, C^0–23. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм –0,5; разряд зрительной работы –3. Превышение допустимого уровня звука, дБа –4. РМ стационарное, поза свободная. Ходьба без груза на расстояние до 5 км. Работа в утреннюю смену. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –8. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –25. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки и гимнастики. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану при дефиците времени и контакта с другими людьми.</p>
Вариант 22	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели инженера –исследователя в центральной заводской лаборатории, 55 лет. Стаж работы –30 лет. Не курит, живет за городом, в экологически чистом районе. Добираться к месту работы на общественном транспорте за 1,4 ч.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, C^0–25-26. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм –0,45; разряд зрительной работы –3. Превышение допустимого уровня звука, дБа –10. РМ</p>

	<p>стационарное, поза несвободная –до 50% времени в наклонном положении. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –6. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –60. Число важных объектов наблюдения –7. Число движений пальцев в час 120. Монотонность: число приемов в операции -7; длительность повторяющихся операций, с -60. Отсутствие обоснованного режима труда и отдыха. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану.</p>
Вариант 23	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели оператора станда контроля авиационных двигателей –58 лет. Работает с 22 лет. Курит с 19 лет по 20 сигарет в день. Живет за городом, ездит на работу на метро и троллейбусе -1,2 часа.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰-26-27. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм ->1; разряд зрительной работы –3. Превышение допустимого уровня звука, дБа –6. РМ стационарное, поза несвободная –до 20% времени в наклонном положении до 30⁰. Работа в три смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –8. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –40. Число важных объектов наблюдения –5. Вибрация, превышение ПДУ, дБ –4. Число движений пальцев в час –100. Монотонность: число приемов в операции -3; длительность повторяющихся операций, с –35. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате сложных действий по заданному плану с возможностью коррекции. Токсическое вещество, кратность превышения ПДК –2.</p>
Вариант 24	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни и величину риска гибели техника, работающего для определения механических свойств изделий, 57 лет. Стаж работы 37 лет. Курит по 25 сигарет в день с 17 лет. Живет рядом с заводом, доходит к месту работы за 25 мин, переходит через ж/д пути и оживленную автотрассу.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–25-26. Освещенность РМ на уровне санитарных норм: размер объекта, мм -<0,3; разряд зрительной работы –1. Превышение допустимого уровня звука, дБа –3. РМ стационарное, поза вынужденная –до 50% от продолжительности смены. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –8. Вредное вещество (тетрабромэтан), кратность превышения ПДК –1,3. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по заданному плану с возможной коррекцией.</p>
Вариант 25	<p>Определите величину сокращения продолжительности жизни оператора станда КИП, 36 лет. Стаж работы –16 лет. Курит по 15 сигарет на протяжении 20 лет. Живет за городом, ездит на собственном автомобиле к месту работы, затрачивая на дорогу 40 мин.</p> <p>Условия на рабочем месте: Температура воздуха на РМ в теплый период года, С⁰–22. Освещенность РМ на уровне санитарных</p>

	<p>норм: размер объекта, мм $<0,3$; разряд зрительной работы –2. Превышение допустимого уровня звука, дБа –3. РМ стационарное, поза несвободная –до 20% времени в наклонном положении. Масса перемещаемых грузов –до 5 кг. Работа в две смены. Продолжительность непрерывной работы в течение суток, ч –8. Длительность сосредоточенного наблюдения, % от продолжительности рабочей смены –70. Число важных объектов наблюдений –3. Число движений пальцев в час –260. Монотонность: число приемов в операции –3; длительность повторяющихся операций, с –20. Обоснованный режим труда и отдыха без применения функциональной музыки. Нервно-эмоциональная нагрузка возникает в результате простых действий по индивидуальному плану.</p>
--	---

Критерии оценки (в баллах)

5 баллов выставляется, если студент выполнил 81-100% заданий правильно, оформил условие и решение задачи, указал все формулы, используемые для решения заданий, сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

4 баллов выставляется, если студент выполнил от 61 до 80% заданий правильно, оформил условие и решение задачи, указал все формулы, используемые для решения заданий, сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

3 баллов выставляется, если студент выполнил от 41 до 60% заданий правильно, оформил условие и решение задачи, указал все формулы, используемые для решения заданий, сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

2 баллов выставляется, если студент выполнил от 21 до 40% заданий правильно, оформил условие и решение задачи, указал все формулы, используемые для решения заданий, сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

1 балл выставляется, если студент выполнил от 11 до 20% заданий правильно, оформил условие и решение задачи, указал все формулы, используемые для решения заданий, сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

0 баллов выставляется, если студент выполнил менее 10% заданий правильно, оформил условие и решение задачи, указал все формулы, используемые для решения заданий, сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

сформулировал выводы по итогам поставленных задач.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Белов П. Г., Чернов К.В. Техногенные системы и экологический риск : учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт, 2018. 366 с.
2. Ефремов И. В., Рахимова Н. Н. Техногенные системы и экологический риск: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2016. 171 с
(<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=467117>)

Дополнительная литература:

3. Степаненко Е.Е., Мандра Ю.А., Пospelова О.А. Техногенные системы и

экологический риск: курс лекций: учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2015. 100 с. (https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=438834&sr=1)

4. Сынзыныс, Б.И. Тянтова Е.Н. Экологический риск. М.: Логос, 2005. 168 с. (https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=89947&sr=1)

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

Электронные ссылки для поиска основной и дополнительной литературы:

- 1 Электронная библиотечная система «ЭБ БашГУ» - <https://elib.bashedu.ru/>
- 2 Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - <https://biblioclub.ru/>
- 3 Электронная библиотечная система издательства «Лань» - <https://e.lanbook.com/>
- 4 Электронный каталог Библиотеки БашГУ - <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

Профессиональные базы данных

- 1 Универсальная Базы данных EastView (доступ к электронным научным журналам) - <https://dlib.eastview.com/browse>
 - 2 Научная электронная библиотека - elibrary.ru (доступ к электронным научным журналам) - https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp
- Зарубежные научные ресурсы по ссылке <http://www.bashedu.ru/biblioteka>

Информационно-справочные системы

- 1 справочная правовая система «КонсультантПлюс» - <http://www.consultant.ru/>
- 2 SCOPUS - <https://www.scopus.com>
- 3 Web of Science - <http://apps.webofknowledge.com>

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: аудитория № 332 (учебный корпус биофака); аудитория № 3176 (учебный корпус биофака); аудитория № 232 (учебный корпус биофака).</p> <p>2. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа: аудитория № 332 (учебный корпус биофака); аудитория № 3176 (учебный корпус биофака); аудитория № 302 (учебный корпус биофака); аудитория № 232 (учебный корпус биофака); аудитория № 218-Лаборатория экологической безопасности (учебный корпус биофака).</p> <p>3. Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций: аудитория № 302 (учебный корпус биофака); аудитория № 3176 (учебный корпус биофака).</p> <p>4. Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации: аудитория № 231-Лаборатория ИТ (учебный корпус биофака); аудитория № 319-Лаборатория ИТ (учебный корпус биофака); аудитория № 332 (учебный корпус биофака); аудитория № 3176 (учебный корпус биофака); аудитория № 302 (учебный корпус биофака); аудитория № 232 (учебный корпус биофака); аудитория № 218-Лаборатория экологической безопасности (учебный корпус биофака).</p> <p>5. Помещения для самостоятельной работы: аудитория № 428 (учебный корпус биофака); читальный зал №1 (главный корпус).</p>	<p align="center">Аудитория № 332 Учебная мебель, доска, мультимедиа-проектор PanasonicPT-LB78VE, экран настенный ClassicNorma 244*183</p> <p align="center">Аудитория № 3176 Учебная мебель, доска, кафедра, мультимедиа-проектор InFocus IN119HDx, Ноутбук Lenovo 550, экран настенный ClassicNorma 213*213.</p> <p align="center">Аудитория № 232 Учебная мебель, доска, мультимедиа-проектор PanasonicPT-LB78VE, экран настенный ClassicNorma 244*183.</p> <p align="center">Аудитория №302 Учебная мебель, доска, переносной мультимедиа-проектор BenQ MP515, Ноутбук Lenovo 550.</p> <p align="center">Аудитория № 218 Лаборатория экологической безопасности Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, переносной мультимедиа-проектор BenQ MP515, Ноутбук Lenovo 550, Аквадистиллятор ДЭ-4-02 "ЭМО" мод.737, Биноккулярный микроскоп, Весы ВЛТЭ-500, Микроскоп, Мини-бокс, Монокулярный микроскоп, Рн-метр АНИОН-7000, Центрифуга, Микроскоп "Биомед-1", Термостат.</p> <p align="center">Аудитория № 231 Лаборатория ИТ Учебная мебель, доска, экран белый, персональный компьютер в комплекте HP AiO 20" CQ 100 eu моноблок (12 шт).</p> <p align="center">Аудитория № 319 Лаборатория ИТ Учебная мебель, доска, персональный компьютер в комплекте №1 iRUCorp (15 шт).</p> <p align="center">Аудитория №428 Учебная мебель, доска, трибуна, мультимедиа-проектор InFocusIN119HDx, ноутбук Lenovo 550, экран настенный ClassicNorma 200*200, моноблоки стационарные - 2 шт.</p> <p align="center">Читальный зал № 1 Учебная мебель, учебный и</p>	<p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор № 104 от 17.06.2013 г. Лицензии – бессрочные.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор № 114 от 12.11.2014 г. Лицензии – бессрочные.</p>

	справочный фонд, неограниченный круглосуточный доступ к электронным библиотечным системам (ЭБС) и БД, стенд по пожарной безопасности, моноблоки стационарные – 5 шт, МФУ (принтер, сканер, копир) - 1 шт. Wi-Fi доступ для мобильных	
--	--	--

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины Техногенные системы и экологический риск на 6 семестр
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	42,2
лекций	14
практических/ семинарских	-
лабораторных	28
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	29,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	-

Форма(ы) контроля:

зачет _____ 6 _____ семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Атмосфера, гидросфера, литосфера - основные компоненты окружающей среды. Законы функционирования биосферы. Защитные механизмы природной среды и факторы, обеспечивающие ее устойчивость. Динамическое равновесие в окружающей среде. Гидрологический цикл. Круговорот энергии и вещества в биосфере. Фотосинтез. Условия и факторы, обеспечивающие безопасную	2		4	4	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной литературы	Проверка лабораторных тетрадей

	жизнедеятельность в окружающей среде. Естественные «питательные» циклы, механизмы саморегуляции, самоочищение биосферы. Возобновляемые и невозобновляемые природные ресурсы.							
2.	Вулканическая деятельность, землетрясения, цунами; атмосферные процессы: циклоны (тайфуны, ураганы), смерчи и др., лесные пожары, наводнения. Параметры опасных природных явлений, приводящих к чрезвычайным ситуациям. Климат. современные климатические модели — основа оценки глобальных изменений состояния окружающей среды.	2		4	4	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной литературы	Проверка лабораторных тетрадей
3.	Техногенные системы: определения и	2		4	4	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной	Проверка лабораторных

<p>классификация. Основные загрязнители почвы, воздуха, воды; их источники: промышленные предприятия, электростанции, транспорт. Методы оценки воздействия: аддитивность, синергизм и антагонизм. Превращения химических загрязнителей в окружающей среде. Глобальные экологические проблемы: климатические изменения, нарушение озонового слоя, загрязнение природных вод нефтепродуктами и др. Масштаб современных и прогнозируемых техногенных воздействий на человека и окружающую среду в</p>						литературы	тетрадей
---	--	--	--	--	--	------------	----------

	рамках концепции устойчивого развития.							
4.	Классификация техногенных аварий. Взаимосвязь между природными и техногенными авариями и катастрофами. Меры по ликвидации последствий технических аварий и катастроф.	2		4	4	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной литературы	Проверка лабораторных тетрадей
5	Экологическое нормирование воздействий на атмосферу. Оценка зоны влияния предприятия.	2		4	4	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной литературы	Проверка лабораторных тетрадей
6	Понятие риска. Концепция приемлемого риска. Соотношение величин риска в разных областях деятельности человека. Экспозиция. Ингаляционная модель. Пероральная модель. Модель для питьевой воды.	2		4	4	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной литературы	Проверка лабораторных тетрадей
7	Идентификация опасности. Оценка	2		4	5,8	1, 2, 3, 4	Чтение дополнительной	Проверка лабораторных

<p>экспозиции. Установление зависимости «доза-эффект». Характеристика и оценка риска. Анализ факторов, влияющих на достоверность результатов в оценке риска. Характеристика неопределенностей. Рекомендации МКРЗ по оценке риска радиационного воздействия Радиотоксичность и риск. Риск при контакте с радионуклидами.</p>						литературы	тетрадей
Всего часов:	14		28	29,8			

Рейтинг – план дисциплины

Техногенные системы и экологический риск

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность 05.03.06. Экология и природопользованиекурс 3, семестр 6

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1				
Текущий контроль				
1. Лабораторная работа	5	5	0	25
Рубежный контроль				
1. Тестирование	25	1	0	25
Модуль 2				
Текущий контроль				
1. Лабораторная работа	5	5	0	25
Рубежный контроль				
1. Тестирование	25	1	0	25
Поощрительные баллы				
1. Публикация статей	10	1	0	10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
1. Посещение лекционных занятий			0	-6
2. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			0	-10
Итоговый контроль				
1. Зачет =				