

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
по дисциплине
«Техногенные системы и экологический риск»
для студентов направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
Направленность (профиль) Экология и экологическая безопасность

Ставрополь, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изучения антропогенного воздействия на окружающую среду является одной из важнейших комплексных задач современности. Она глобальна по своему характеру и требует междисциплинарных исследований. Практически все важнейшие решения в области научно-технического прогресса связаны с оценкой воздействия новых технологий на безопасность экосистем и здоровье человека.

Цель практических работ:

- изучение тех разделов экологии и охраны окружающей среды, которым по балансу времени не может быть уделено достаточно внимания при изложении теоретического курса;

- изучение основных документов, регламентирующих техногенное воздействие предприятий железнодорожного транспорта и других промышленных объектов на природную среду, и выработка практических навыков работы с ними;

- изучение принципов работы и примеров технических решений устройств очистки сточных вод и отходящих газов предприятий железнодорожного транспорта;

- освоение методик расчета платежей за загрязнение окружающей среды;

- освоение способов эколого-экономической оценки и планирования природоохранных мероприятий;

- выработка практических навыков представления результатов графического и расчетного анализа существующих или разрабатываемых технических решений в области экологии и охраны окружающей среды.

Основная цель учебного пособия – содействовать подготовке специалистов в области оценки и снижения техногенного и экологического риска, и такой специалист должен:

- 1 владеть методами качественного и количественного оценивания техногенного и экологического риска, приемами анализа всей достоверной информации и сопоставления различных точек зрения в процессе принятия решения;

- 2 знать закономерности восприятия экологического риска отдельными индивидуумами и социальными группами, устанавливать причины неадекватного восприятия риска;

- 3 уметь рекомендовать меры по снижению риска, выявлять приоритеты в реализации мероприятий, направленных на снижение риска;

4 знать о мероприятиях и действиях, нацеленных на прогноз аварийного риска и действий в условиях чрезвычайных ситуаций.

Анализ должен охватывать все этапы - от создания до «захоронения» исчерпавшей себя технологии, вплоть до устранения вредных последствий ее использования.

Методология анализа риска нацелена в конечном итоге на лиц, принимающих решения, и служит тем инструментом, который позволяет проводить количественные оценки, обеспечивающие научную поддержку в процессе принятия решения.

В настоящем учебном пособии разделы снабжены контрольными вопросами и в некоторых случаях задачами, самостоятельный контроль позволит студентам более глубоко осмыслить изучаемые проблемы и овладеть дополнительными методами воздействия опасных химических производств. Список литературы, данный к каждому разделу, включает помимо источников, используемых в процессе подготовки пособия, также рекомендуемые для более глубокого и широкого освоения рассматриваемых в данных пособии проблем.

Тема 1. Концепция риска.

Цель и задачи курса, его структура и содержание. Основные понятия и термины

Лабораторная работа №1 «Расчет индивидуального риска от различных причин»

Цель работы:

Изучить теоретическое обоснование риска. Научиться определять риск индивидуальный и групповой (социальный) в конкретных ситуациях.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с общими сведениями. Записать определения.
2. Выполнить практические задачи.

Теория

Опасность – одно из центральных понятий безопасности жизнедеятельности (БЖД). Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически или биологически активные компоненты, а также характеристики (параметры), несоответствующие условиям жизнедеятельности человека. Можно сказать, что **опасность** – это риск неблагоприятного воздействия.

Практика свидетельствует, что абсолютная безопасность недостижима. Стремление к абсолютной безопасности часто вступает в антагонистические противоречия с законами техносферы.

В сентябре 1990 г. в г. Кельне состоялся первый Всемирный конгресс по безопасности жизнедеятельности человека как научной дисциплине. Девиз конгресса: «Жизнь в безопасности». Участники конгресса постоянно оперировали понятием «риск».

Возможны следующие определения риска:

1. Это количественная оценка опасности, вероятность реализации опасности;
2. При наличии статистических данных, это частота реализации опасностей.

Различают опасности реальные и потенциальные. В качестве аксиомы принимаются, что любая деятельность человека потенциально опасна. Реализация потенциальной опасности происходит через причины и приводит к нежелательным последствиям.

Сейчас перед специалистами ставится задача – не исключение до нуля безопасности (что в принципе невозможно). А достижение заранее заданной величины риска реализации опасности. При этом сопоставлять затраты и получаемую от снижения риска выгоду. Во многих западных странах для

более объективной оценки риска и получаемых при этом затрат и выгод, вводят финансовую меру человеческой жизни. Заметим, что такой подход имеет противников, их довод – человеческая жизнь свята, бесценна и какие-то финансовые оценки недопустимы. Тем не менее, по зарубежным исследованиям, человеческая жизнь оценивается, что позволяет более объективно рассчитывать ставки страховых тарифов при страховании и обосновывать суммы выплат.

Поскольку абсолютная безопасность (нулевой риск) невозможна, современный мир пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска. Суть концепции заключается в стремлении к такой безопасности, которую принимает общество в данное время. При этом учитывается уровень технического развития, экономические, социальные, политические и др. возможности. **Приемлемый риск** – это компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Это можно рассмотреть в следующей ситуации. После крупной аварии на Чернобыльской АЭС, правительство СССР решило повысить надежность всех ядерных реакторов. Средства были взяты из госбюджета и, следовательно, уменьшилось финансирование социальных программ здравоохранения, образования и культуры, что в свою очередь привело к увеличению социально-экономического риска. Поэтому следует всесторонне оценивать ситуацию и находить компромисс – между затратами и величиной риска.

Переход к «риску» дает дополнительные возможности повышения безопасности техносферы. К техническим, организационным, административным добавляются и экономические методы управления риском (страхование, денежные компенсации ущерба, платежи за риск и др.). Есть здравый смысл в том, чтобы законодательно ввести квоты за риск. При этом возникает проблема расчета риска: статистический, вероятностный, моделирование, экспертных оценок, социологических опросов и др. Все эти методы дают приблизительную оценку, поэтому целесообразно создавать базы и банки данных по рискам в условиях предприятий, регионов и т.д.

Практические задачи

Задача 1. В таблице 1 приведен ряд профессий по степени индивидуального риска фатального исхода в год. Используя данные табл.1 методом экспертных оценок охарактеризуйте вашу настоящую деятельность и условия вашей будущей работы.

Таблица 1.

Классификация профессиональной безопасности

Категория	Условия	Риск	Профессия
-----------	---------	------	-----------

	профессионально й деятельности	смерти (на человек а в год)	
1	Безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	Текстильщики, обувщики, работники лесной
2	Относительно безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	промышленности, бумажного
3	Опасные	до $1 \cdot 10^{-3}$	производства и др.
4	Особо опасные	$1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ больше $1 \cdot 10^{-2}$	Шахтеры, металлурги, судостроители и др. Рыбопромышленники, верхолазы, трактористы и др. Летчики-испытатели, летчики реактивных самолетов

После обсуждения письменно сформулируйте свою оценку.

Для решения следующих задач используйте формулу определения индивидуального риска

$$P = n/N, \quad (1)$$

где P – индивидуальный риск (травмы, гибели, болезни и пр.);

n – количество реализации опасности с нежелательными последствиями за определенный период времени (день, год и т.д.);

N – общее число участников (людей, приборов и пр.), на которых распространяется опасность.

Пример решения задачи по формуле (1).

Условие. Ежегодно неестественной смертью гибнет 250 тыс. человек. Определить индивидуальный риск гибели жителя страны при населении в 150 млн. человек.

Решение.

$$P_{\text{ж}} = 2,5 \cdot 10^5 / 1,5 \cdot 10^8 = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Или будет 0,0017. Иначе можно сказать, что ежегодно примерно 17 человек 10000 погибает неестественной смертью. Если пофантазировать и предположить, что срок биологической жизни человека равен 1000 лет, то по нашим данным оказывается, что уже через 588 лет (1:0,0017) вероятность гибели человека неестественной смертью близка к 1 (или 100%).

Примечание. Здесь и в задачах №2,3 данные приближены к России.

Задача 2. Опасность гибели человека на производстве реализуется в год 7 тыс. раз. Определить индивидуальный риск погибших на производстве при условии, что всего работающих 60 млн. человек. Сравните полученный результат с вашей экспертной оценкой из задачи 1.

Задача 3. Определить риск погибших в дорожно-транспортном происшествии (ДТП), если известно, что ежегодно гибнет в ДТП 40 тыс. человек при населении 150 млн. человек.

Задача 4. Используя данные индивидуального риска фатального исхода в год для населения США (данных по России нет), определите свой индивидуальный риск фатального исхода на конкретный год. При этом можно субъективно менять коэффициенты и набор опасностей.

Индивидуальный риск гибели в год

Причина	Риск	Причина	Риск
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$	Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Падения	$9 \cdot 10^{-5}$	Падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
Пожар и ожог	$4 \cdot 10^{-5}$	Электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$	Железная дорога	$4 \cdot 10^{-6}$
Отравление	$2 \cdot 10^{-5}$	Молния	$5 \cdot 10^{-7}$
Огнестрельное оружие	$1 \cdot 10^{-5}$	Все прочие	$4 \cdot 10^{-5}$
Станочное оборудование	$1 \cdot 10^{-5}$	Ядерная энергетика (пренебрегаемо мал. риск)	$2 \cdot 10^{-10}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$		

Риск общий для американца: $P_{\text{общ.}} = 6 \cdot 10^{-4}$

Сравнить полученный результат с результатом примера решения.

Задачи на риск гибели неестественной смертью в России и с риском гибели в год для американца ($P_{\text{общ.}}$).

Тема 2 Классификация опасностей и рисков

Лабораторная работа №2 «Расчет потенциального риска здоровью, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха»

Цель работы: овладеть методикой расчета потенциального риска здоровью, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха

ЗАДАЧА 1

В производственном процессе используется растворитель. Загрязненный воздух проходит предварительную очистку и выбрасывается в атмосферу через общую трубу. Труба установлена снаружи здания.

Выбрав соответствующие варианту исходные данные, необходимо:

- определить максимальную концентрацию паров растворителя в приземном слое атмосферы;
- определить опасную скорость ветра, при которой концентрация паров растворителя в приземном слое будет максимальной;
- рассчитать риск возникновения немедленных токсических эффектов и риск возникновения хронических заболеваний для населения, проживающего вблизи предприятия;
- дать рекомендации по уменьшению экологического риска для населения.

Данные для решения задачи приведены в таблице 2.

Таблица 2

Варианты заданий

Вариант	Тип растворителя	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	ПДК _{с.с.} , мг/м ³	Класс опасности	выбрасываемого растворителя, (М)	Высота трубы, (Н _{тр}) м	Диаметр устья трубы (Д) мм	составляющая скорости выброса	Высота здания (Н _{зд}), м	Длина здания (Л), м
1	Ацетатный	0,5	0,1	3	120	15,0	250	10	10	30
2	Бутилформиатный	0,3	0,1	3	100	15,0	300	12	12	36
3	Ацетоноэфирный	0,12	0,04	4	50	16,0	200	11	10	50
4	Эфирноацетоновый	0,07	0,02	4	12	17,0	200	9	12	36
5	Мебельный (по толуолу)	0,09	0,02	3	50	18,0	250	12	12	60
6	Бутилформиатный	0,3	0,1	3	150	19,0	300	10	15	75
7	Ацетатный	0,5	0,1	3	300	22,0	250	11	15	80
8	Эфирноацетоновый	0,07	0,02	4	50	17,5	200	10	10	90
9	Бутилформиатный	0,3	0,1	3	105	18,0	250	9	12	60

10	Мебельный (по толуолу)	0,09	0,02	3	48	16,0	300	12	12	60
11	Ацетатный	0,5	0,1	3	95	19,0	220	9	15	46
12	Бутилформиатный	0,3	0,1	3	80	15,0	300	11	12	37
13	Ацетоноэфирный	0,12	0,04	4	40	18,0	300	11	12	48
14	Эфирноацетоновый	0,07	0,02	4	25	16,0	330	12	11	33
15	Мебельный (по толуолу)	0,09	0,02	3	65	16,0	300	10	10	70
16	Бутилформиатный	0,3	0,1	3	95	16,5	200	10	11	55
17	Ацетатный	0,5	0,1	3	280	21,0	250	9	12	72
18	Эфирноацетоновый	0,07	0,02	4	20	15,0	300	12	10	30
19	Бутилформиатный	0,3	0,1	3	110	18,0	250	10	12	48
20	Мебельный (по толуолу)	0,09	0,02	3	35	19,0	320	12	15	45

При решении необходимо использовать методику расчета, изложенную в приложении 1

Рассеивание выбросов в атмосфере

Согласно ОНД-90 «Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [11], в зависимости от расположения и организации выбросов, источники загрязнения атмосферы подразделяются на: затененные, незатененные, линейные, точечные.

Точечные источники загрязнения сконцентрированы в одном месте (выбросные трубы).

Линейные источники загрязнения имеют значительную протяженность в направлении, перпендикулярном ветру (аэрационные фонари, открытые окна). *Незатененные источники загрязнения* – высокие трубы, расположенные в недеформированном потоке ветра, выбросы загрязняющих веществ удаляются на высоту $H_{тр} > 2,5 H_{зд}$.

Затененные источники загрязнения – выбросы удаляются на высоту $H_{тр} \leq 2,5 H_{зд}$ и попадают в аэродинамическую зону ($H_{тр}$ - высота трубы, $H_{зд}$ - высота здания).

Затененные источники выброса.

1. Максимальная концентрация вредных веществ в приземном слое на заводской площадке при выбросе загрязняющих веществ через низкие трубы находится по формуле:

$$C_m = \frac{0,530 \cdot M \cdot \varphi \cdot E \cdot k_{aT}}{D \cdot w_r \cdot H_{зд.}}, [мг / м^3] \quad (1)$$

где: М - масса вредного выбрасываемого вещества в атмосферу в единицу времени мг/с;

φ – коэффициент скорости, учитывающий поле скоростей над зданием (табл.П.1.1);

k_{aT} – коэффициент, учитывающий максимальное изменение концентраций в зависимости от отношения длины здания ($L_{зд.}$) к высоте здания ($H_{зд.}$), (табл.П.1.2);

Е – безразмерный коэффициент, зависящий от относительного коэффициента $\bar{h}$ (табл.П.1.1);

Д – диаметр устья трубы, м;

w_r - вертикальная составляющая скорости выброса загрязненного воздуха из трубы, м/с;

$\bar{h}$ - относительный коэффициент:

$$\bar{h} = \frac{H_{мп.} - H_{зд.}}{H_{зд.}} \quad (2)$$

Таблица П.1.1 Зависимость коэффициента φ и Е от $\bar{h}$

$\bar{h}$	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,2
φ	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,4
Е	1,11	0,83	0,59	0,4	0,26	0,18

Таблица П.1.2 Зависимость коэффициента k_{aT} от $L_{зд.}$ и $H_{зд.}$

$L_{зд.}/H_{зд.}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_{aT}	1,2	1,3	1,15	1,0	0,8	0,65	0,5	0,35	0,28	0,23

2. Опасная скорость ветра при затененных источниках выброса (v_m), м/с:

$$v_m = 1,5 \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{H_{зд.}}}, м / с \quad (3)$$

где: Q – объем газо-воздушной смеси, выбрасываемой из труб, м³/с

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_r, м^3 / с \quad (4)$$

3. Оценка риска здоровья населения при загрязнении атмосферы. Рекомендации по уменьшению риска.

1. Оценка риска возникновения немедленных токсических эффектов проводится по методике, описанной в [4]

Вероятность токсического воздействия вредного вещества на человека (*Prob*) в соответствии с классом опасности определяется по следующим уравнениям:

$$\text{1-й класс} \quad Prob = -9,15 + 11,66 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{м.р}}) \quad (5)$$

$$\text{2-й класс} \quad Prob = -5,51 + 7,49 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{м.р}}) \quad (6)$$

$$\text{3-й класс} \quad Prob = -2,35 + 3,73 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{м.р}}) \quad (7)$$

$$\text{4-й класс} \quad Prob = -1,41 + 2,33 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{м.р}}) \quad (8)$$

где: *C* – средняя концентрация вещества в атмосферном воздухе населенных мест за оценочный период, мг/м³.

Перевод *Prob* в *Risk* осуществляется по табл. П.1.3

Таблица П.1.3 Таблица нормального вероятностного распределения

<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>	<i>Prob</i>	<i>Risk</i>
–3,0	0,001	–1,1	0,136	0,0	0,50	1,1	0,864
–2,5	0,006	–1,0	0,157	0,1	0,540	1,2	0,885
–2,0	0,023	–0,9	0,184	0,2	0,579	1,3	0,903
–1,9	0,029	–0,8	0,212	0,3	0,618	1,4	0,919
–1,8	0,036	–0,7	0,242	0,4	0,655	1,5	0,933
–1,7	0,045	–0,6	0,274	0,5	0,692	1,6	0,945
–1,6	0,055	–0,5	0,309	0,6	0,726	1,7	0,955
–1,5	0,067	–0,4	0,345	0,7	0,758	1,8	0,964
–1,4	0,081	–0,3	0,382	0,8	0,788	1,9	0,971
–1,3	0,097	–0,2	0,421	0,9	0,816	2,0	0,977
–1,2	0,115	–0,1	0,460	1,0	0,841	2,5	0,994
						3,0	0,999

Для расчета эффектов, связанных с длительным (хроническим) воздействием вредных веществ, используется информация об их среднегодовых концентрациях.

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе рассчитываются по данным «Ежегодников о состоянии загрязнения воздуха городов и промышленных центров» за несколько лет, но не менее чем за два года.

В случае отсутствия данных о среднегодовых концентрациях согласно методике, описанной в литературе [10], обычно принимают значение

среднегодовой концентрации на один порядок меньше максимальной разовой.

$$C_r = 0,1 * C_{м.р.} \quad (9)$$

Согласно методике, приведенной в литературе [10], для расчета вероятного времени наступления токсических эффектов можно воспользоваться уравнением, основанном на принятой в нашей стране системе регламентирования химических веществ в воздухе населенных мест:

$$\lg T = \lg T_0 + \lg \left(\frac{C}{ПДК_r} \right)^b, \quad (10)$$

где T — вероятное время наступления токсического эффекта;

T_0 — расчетное время гарантированного ($p < 0,05$) отсутствия токсического эффекта, на которое разрабатывается норматив (25 лет);

$ПДК_r = 0,2 * ПДК_{с.с.}$ — гигиенический регламент;

b — коэффициент изоэффективности, учитывающий особенности токсических свойств вещества (определяется в соответствии с классом опасности вещества).

Рекомендуемые значения коэффициента b на расчетный срок (25 лет), в зависимости от класса опасности, позволяет предложить следующие его значения для использования в уравнении (10):

1-й класс — 2,40;

2 класс — 1,31;

3 класс — 1,00;

4 класс — 0,86.

Независимо от класса опасности **при концентрации меньше ПДК**, коэффициент **$b=1,00$** .

Пример решения задачи 1

Дано: В производственном процессе используется растворитель. Загрязненный воздух проходит предварительную очистку и выбрасывается в атмосферу через общую трубу. Труба установлена снаружи здания.

ДАНО:

1. Тип растворителя – мебельный (по толуолу);

2. $ПДК_{м.р.} = 0,09 \text{ мг/м}^3$;

3. $ПДК_{с.с.} = 0,02 \text{ мг/м}^3$;

4. Класс опасности растворителя – 3-й;

5. Масса выбрасываемого растворителя (M)- 30 мг/с;

6. Высота трубы ($H_{тр}$) – 23,0 м;
7. Диаметр устья трубы (D) – 200 мм;
8. Вертикальная составляющая скорости выброса паров растворителя из устья трубы – 12 м/с;
9. Высота здания ($H_{зд.}$) – 15 м;
10. Длина здания (L) – 45 м.

ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ:

1. Максимальную концентрацию паров растворителя в приземном слое атмосферы (C_m).
2. Опасную скорость ветра (V_m), при которой концентрация паров растворителя в приземном слое будет максимальной.
3. Риск возникновения немедленных токсических эффектов и риск возникновения хронических заболеваний для населения, проживающего вблизи предприятия.
4. Дать рекомендации по уменьшению экологического риска для населения.

Решение

По условию задачи выбросы из источника загрязнения можно отнести к **затененным** (выбросы удаляются на высоту $H_{тр} \leq 2,5 H_{зд.}$ и попадают в аэродинамическую зону).

1. Максимальная концентрация вредных веществ в приземном слое на заводской площадке при выбросе загрязняющих веществ через низкие трубы находится по формуле (1) прил.1:

$$C_m = \frac{0,530 \cdot M \cdot \varphi \cdot E \cdot k_{ат}}{D \cdot w_r \cdot H_{зд.}}, [мг / м^3]$$

$\bar{h}$ - относительный коэффициент, который можно рассчитать по зависимости (2) прил.1:

$$\bar{h} = \frac{H_{мп.} - H_{зд.}}{H_{зд.}} = \frac{23 - 15}{15} \approx 0,5$$

$$C_m = \frac{0,530 \cdot 30 \cdot 1,1 \cdot 0,59 \cdot 1,15}{0,2 \cdot 12 \cdot 15} = 0,329 \text{ мг / м}^3$$

2. Опасная скорость ветра при затененных источниках выброса (V_m) определяется по формулам (3) и (4) прил.1:

$$V_m = 1,5 \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{H_{зд.}}} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,38}{15}} \approx 0,5 \cdot м / с$$

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w_r = \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \cdot 12 = 0,38, м^3 / с$$

3. Оценка риска возникновения немедленных токсических эффектов.

Вероятность токсического воздействия вещества 3 класса опасности определяется по уравнению(7) прил.1:

$$Prob = -2,35 + 3,73 \lg(C/ПДК_{м.р})$$

$$Prob = -2,35 + 3,73 \lg(0,329/0,09) = -0,25$$

Перевод *Prob* в *Risk* может быть осуществлен по табл. П.1.3.

Т.к. в таблице нет искомого значения *Prob* применим метод интерполяции ближайшие значения *Prob* -0,2 и -0,3 для них *Risk*=0,421 и 0,382 соответственно. Следовательно значение искомого риска составит

$$Risk = 0,382 - \frac{0,421 - 0,382}{-0,2 - (-0,3)} \cdot (-0,25 - (-0,3)) = 0,402$$

Для расчета вероятного времени наступления токсических эффектов от накопленной суммарной дозы при оценке кратности превышения ПДК_г воспользуемся уравнением (10) прил.1:

$$\lg T = \lg T_0 - \lg \left(\frac{C_z}{ПДК_{г}} \right)^b,$$

$$\lg T = \lg 25 - \lg (0,0329/0,004)^{1,0} = 1,40 - 0,92 = 0,48$$

$$T = 10^{0,48} \approx 3 \text{ года}$$

где *T* — вероятное время наступления токсического эффекта;

***T*₀ =25 лет**— расчетное время гарантированного (*p* < 0,05) отсутствия токсического эффекта, на которое разрабатывается норматив;

C_z — осредненная концентрация вещества в атмосферном воздухе населенных мест за оцениваемый период принимается равной ***C_z*=0,1С_т**;

$$C_z = 0,1 * 0,329 = 0,0329 \text{ мг/м}^3$$

$$ПДК_{г} = 0,2 * ПДК_{с.с.} = 0,2 * 0,02 = 0,004 \text{ мг/м}^3 \text{ — гигиенический регламент;}$$

***b*=1,0** — коэффициент изоэффективности для веществ 3 класса опасности.

4. В рассматриваемой ситуации экологический риск неоправданно высок, так как у населения присутствует риск возникновения немедленных токсических эффектов и время наступления хронического токсического

эффекта значительно меньше 25 лет. Необходимо принять меры по улучшению экологической ситуации.

Рекомендации: установить дополнительную систему очистки; модернизировать производство с тем, чтобы уменьшить массу выбрасываемого вещества, Все эти мероприятия потребуют достаточно больших инвестиций в производство, однако в данном случае приоритетным является здоровье населения.

Тема 3. Классификация опасностей и рисков: по причине возникновения, по объекту воздействия, по уровню воздействия.

Лабораторная работа № 4 «Расчет последствий аварии на опасном производственном объекте»

Цель работы: закрепить теоретические знания о классификации опасностей и рисков (по причине возникновения, по объекту воздействия, по уровню воздействия) и приобрести практические навыки расчета зон поражения и оценки индивидуального и социального риска при техногенной аварии.

1. Теоретическая часть (кратко)

Перед выполнением расчетов необходимо классифицировать аварию по трем признакам:

Признак классификации	Виды	Пример для данной работы
По причине возникновения	Техническая, организационная, природная, умышленная	Организационная (ошибка персонала) и техническая (разрушение резервуара)
По объекту воздействия	На персонал, население, объекты инфраструктуры, окружающую среду	Население (жилая застройка), ОС (разлив нефти)
По уровню воздействия (риск)	Приемлемый ($\leq 10^{-6}$), допустимый ($10^{-6} - 10^{-4}$), неприемлемый ($> 10^{-4}$)	Индивидуальный риск: расчетное значение сравнивается с нормативом

2. Исходные данные (варианты)

Общий сценарий:

На резервуарном парке (нефтебаза) происходит полное разрушение наземного вертикального резервуара с бензином объемом $V = 2000 \text{ м}^3$. Высота обвалования $h_{\text{обв}} = 1,5 \text{ м}$. Площадь обвалования $S_{\text{обв}} = 5000 \text{ м}^2$. Расстояние до ближайшего жилого поселка $R_{\text{ж}} = 250 \text{ м}$ от границы

обвалования. Метеоусловия: скорость ветра $u = 3$ м/с, класс устойчивости атмосферы D (изотермия). Плотность бензина $\rho = 740$ кг/м³. Температура воздуха 20 °С.

Индивидуальные варианты (для самостоятельного расчета):

№ варианта	V, м ³	R ж, м	h обв, м	u, м/с
1	500	150	1,0	2
2	1000	200	1,2	3
3	2000	250	1,5	4
4	5000	350	2,0	2
5	3000	300	1,8	5

3. Порядок выполнения работы

3.1. Этап 1. Классификация аварии

На основе сценария заполните таблицу 1.

Таблица 1 – Классификация опасностей и рисков

Признак	Характеристика для данного сценария	Обоснование
По причине возникновения		
По объекту воздействия		
По уровню воздействия (предварительная оценка)		

3.2. Этап 2. Расчет поражающих факторов

Для аварии с разливом ЛВЖ рассчитываются:

- Зона возможного пожара пролива (тепловое излучение)
- Зона воздействия ударной волны (если возможно образование ТВС – при мгновенном разрушении, но для бензина – в основном пожар пролива)

Формулы:

1. Масса разлившегося вещества

$$m = V \times \rho \text{ (кг)}$$

2. Площадь разлива в обваловании

Если $S_{\text{разл}} = S_{\text{обв}}$, то эффективный диаметр разлива:

$$D_{\text{эф}} = \sqrt{4 \times S_{\text{обв}} / \pi} \text{ (м)}$$

3. Тепловое излучение от пожара пролива

Плотность теплового потока (q) на расстоянии (R) от центра разлива:

$$q = (0,6 \times Q_0 \times \tau \times F / (p_i \times R^2 + 1))$$

Упрощенный метод (для учебных целей):

$$q = 4,7 \times \exp(-0,12 \times R) \text{ (кВт/м}^2\text{)}$$

справедливо для бензина, $D_{\text{эф}} \sim 30\text{--}50 \text{ м}$, R в м)

Или точнее (по ГОСТ Р 12.3.047):

$q = \varepsilon \times C_0 \times T^4 \times \phi$ – но для простоты используем таблицу значений.

Упрощенная таблица зависимости q от расстояния (для варианта 3):

R, м	10	30	50	70	100	150	200	250
q, кВт/м ²	28	16	8,5	5	2,5	1,0		

Пороговые значения q для поражения людей и объектов:

q, кВт/м ²	Последствие
≥ 14	Воспламенение древесины, смертельное поражение через 15–20 с
7 – 14	Ожог 2-й степени за 10 с
4 – 7	Болевой порог, ожог 1-й степени
1,4 – 4	Дискомфорт, безопасно для кратковременного пребывания

3.3. Этап 3. Расчет индивидуального риска для жителей поселка

Индивидуальный риск $\{ R_{\text{инд}} \}$ – вероятность гибели человека в год.

Для персонала на площадке:

$$R_{\text{инд}} = Q_{\text{аварии}} \times P_{\text{гиб|авария}}$$

где:

- $Q_{\text{аварии}}$ – частота аварии с разрушением резервуара (принимаем (5×10^{-5}) 1/год для типового резервуара);
- $P_{\text{гиб|авария}}$ – условная вероятность гибели при нахождении в зоне поражения.

Для жителей поселка (расстояние ($R_{\text{ж}}$)):

1. Определяем по таблице $q(R_{\text{ж}})$.

2. По пробит-функции для ожога кожи:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \times \ln(t \times q^{4/3})$$

где t – время облучения (принимаем 30 с для возможности эвакуации).

3. Вероятность летального исхода $P_{\text{гиб}}$ по таблице соответствия пробит-функции.

Упрощенно:

Если ($q \geq 7$) кВт/м² $\rightarrow P_{\text{гиб}} \sim 0,9$ (90%).

Если ($q \geq 4$) $\rightarrow P_{\text{гиб}} \sim 0,1$.

Если ($q < 4$) $\rightarrow P_{\text{гиб}} \sim 0,01$.

3.4. Этап 4. Расчет социального риска

Социальный риск – зависимость вероятности гибели N и более человек от числа погибших.

Для поселка с населением ($N_{\text{ж}} = 120$) человек (задано для всех вариантов):

$$R_{\text{соц}}(N_{\text{ж}}) = Q_{\text{аварии}} \times P_{\text{гиб}}(R_{\text{ж}}) \times N_{\text{ж}}$$

Построить график F-N кривой (вероятность – число погибших) для точек: 1, 10, 50, 120 человек.

4. Задание для отчета

1. Выполните классификацию аварии согласно таблице 1.

2. Рассчитайте для своего варианта:

- Массу разлившегося топлива.
- Плотность теплового потока (q) на расстоянии ($R_{\text{ж}}$) (используйте интерполяцию по таблице).
- Индивидуальный риск для жителя поселка.
- Социальный риск (ожидаемое число погибших) при одной аварии.

3. Сравните полученный индивидуальный риск с приемлемым уровнем (10^{-6}) (для населения) и допустимым (10^{-4}) (для персонала). Сделайте вывод.

4. Предложите мероприятия по снижению риска (не менее трех) с указанием, на какой компонент риска они влияют (частота аварии или последствия).

5. Заполните итоговую таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета

Параметр	Значение
Масса топлива, т	
Расстояние до поселка, м	
q на этом расстоянии, кВт/м ²	
Вероятность гибели человека при аварии, P	
Частота аварии (1/год)	$5e^{-5}$
Индивидуальный риск (1/год)	
Социальный риск (ожидаемое число погибших)	
Вывод о приемлемости риска	

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям «опасность», «риск», «авария» применительно к техногенным системам.
2. Перечислите и охарактеризуйте виды классификации опасностей по причине возникновения. Приведите примеры из лабораторной работы.
3. Чем отличается индивидуальный риск от социального? В каких единицах они измеряются?
4. Какие уровни риска считаются приемлемыми для населения и для персонала ОПО в РФ (согласно законодательству)?
5. Назовите основные поражающие факторы при аварии с ЛВЖ. Как зависит тепловое излучение от расстояния?
6. Как изменится риск, если увеличить высоту обвалования? Ответ обосновать.
7. Что такое пробит-функция и для чего она используется?
8. Предложите способ снижения индивидуального риска для данного сценария без изменения расстояния до поселка.

Тема 4. Методология анализа и оценки риска: современные подходы.

Лабораторная работа №4 «Построение дерева событий»

Построение деревьев отказов

Дерево отказов (дерево аварий) представляет собой сложную графологическую структуру, лежащую в основе словесно-графического способа анализа возникновения аварии из последовательностей и комбинаций неисправностей и отказов элементов системы.

Методы деревьев отказов и событий позволяют учесть функциональные взаимосвязи элементов системы в виде логических схем, учитывающих взаимную зависимость отказов элементов или групп элементов.

Имея такую схему, специалист, даже не обладая основательными знаниями по теории вероятностей, может не только найти наиболее критический вариант развития событий, но и оценить ожидаемый риск, если соответствующее дерево событий или отказов дополнено статистическими данными

Деревья отказов идентифицируют событие или ситуацию, создающие риск, после чего ставится вопрос: как могло возникнуть такое событие? Ответ, конечно, заключается в том, что к такому событию могло привести множество

путей. Анализ дерева отказов— это описание всех возможных причин каждого события.

Практическая полезность дерева отказов зависит от тщательности оценки верхнего события. В анализе дерева отказов изучаются причины, которые привели к верхним событиям. По существу, большинство непосредственных причин верхних событий могут изучаться, как будто они сами являются верхними событиями. Теоретически такой анализ может проводиться очень детально на многих уровнях. Наиболее доступные для исследования причины— это отказы компонентов, по которым имеется достаточное количество статистических данных.

Методика построения дерева отказов заключается в следующих этапах:

1. Определяют аварийное (предельно опасное, конечное) событие, которое образует вершину дерева. Данное событие четко формулируют, дают признаки его точного распознавания. Для объектов химической технологии, например, к таким событиям относятся разрыв аппарата, пожар, выход реакции из-под контроля и др. Если конечное событие сразу определить не удастся, то производят прямой анализ работы объекта с учетом изменения состояния работоспособности, нарушений операторов и т.п.

2. Перечисляют возможные отказы, рассматривают их комбинации, определяют последствия этих событий.

3. Используя стандартные символы событий и логические символы (табл. 14), дерево строят в соответствии со следующими правилами:

а) конечное (аварийное) событие помещают вверху;

б) дерево состоит из последовательности событий, которые ведут к конечному событию;

в) последовательности событий образуются с помощью логических знаков И, ИЛИ и др.;

г) событие над логическим знаком помещают в прямоугольнике, а само событие описывают в этом прямоугольнике;

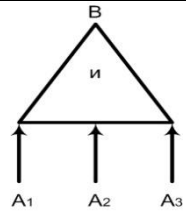
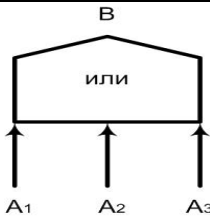
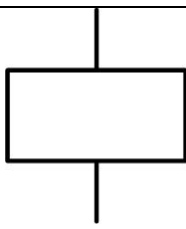
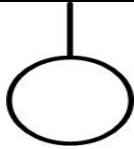
д) первичные события (исходные причины) располагают снизу.

Простейшее дерево отказов, характеризующее возникновение пожара в аппарате, показано на рис. 4.

Таблица 14

Стандартные символы событий и логические символы, применяемые при построении деревьев отказов

Вид элемента	Наименование	Описание
--------------	--------------	----------

	Схема И (совмещение)	Выходной сигнал В появляется только тогда, когда поступают все входные сигналы
	Схема ИЛИ (объединение)	Выходной сигнал В при поступлении любого одного или большего числа A ₁
	Результирующее событие	Результат конкретной комбинации отказов на входе логической схемы
	Первичный отказ	

При построении дерева аварий события располагают по уровням. Главное (конечное) событие занимает верхний — нулевой уровень, ниже располагают события 1-го уровня (среди них могут быть и начальные), затем 2-го уровня и т.д. Если на первом уровне содержится одно или несколько начальных событий, объединяемых логическим значком ИЛИ, то возможен непосредственный переход от начального события к аварии.

3. Квалифицированные эксперты проверяют правильность построения дерева. Это позволяет исключить субъективные ошибки разработчика, повысить точность и полноту описания объекта и его действий.

4. Определяют минимальные аварийные сочетания и минимальную траекторию для построения дерева. Первичные и не разлагаемые события соединены с событием нулевого уровня маршрутами (ветвями). Сложное дерево имеет различные наборы исходных событий, при которых достигается событие в вершине, они называются аварийными сочетаниями или прерывающими совокупностями событий.

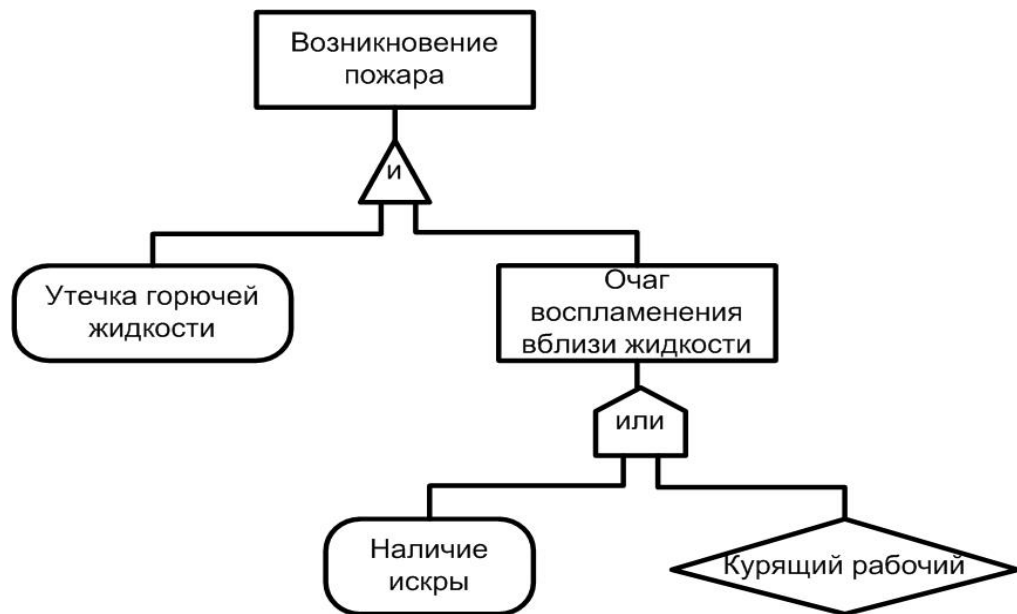


Рис.4. Схема дерева отказов возникновения пожара

5. Качественно и количественно исследуют дерево аварий с помощью выделенных минимальных аварийных сочетаний и траекторий. Качественный анализ заключается в сопоставлении различных маршрутов от начальных событий к конечному и определении критических (наиболее опасных) путей, приводящих к аварии. При количественном исследовании рассчитывают вероятность появления аварии в течение задаваемого интервала времени по всем возможным маршрутам. При расчете вероятности возникновения аварии необходимо учитывать применяемые логические знаки. Вероятность $Q(B)$ выходного события B при независимости входных событий $A_1, A_2, \dots, A_n$ определяют по формулам:

при знаке И: $Q(B) = \prod_{i=1}^n P(A_i)$

при знаке ИЛИ: $Q(B) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(A_i))$

где $P(A_i)$ — вероятность события A_i .

В полученные уравнения необходимо подставить значения вероятности отказов и рассчитать риск возникновения аварийной ситуации/

Пример построения дерева отказов по приведенному уравнению ожидаемого риска

Дано уравнение ожидаемого риска

$$R_{ож} = P_{1,2}(1 - (1 - P_{2,1})(1 - P_{2,1}))$$

вероятность отказов $P_{ij} = 0,01$

Задание: построить дерево отказов и составить уравнения других возможных сценариев. Рассчитать риск.

Решение

При построении дерева отказов по известному уравнению сначала следует определить сколько уровней будет иметь будущее дерево. Уровни определяются максимальным первым (i) индексом при значении вероятности возникновения отказов. В данном случае максимальное значение первого индекса 2, следовательно дерево отказов будет иметь 2 уровня.

Далее следует определить какими логическими операторами объединены вероятности отказов на каждом уровне.

В исследуемом уравнении отказы первого уровня объединены оператором «И», а отказы второго уровня оператором «ИЛИ».

Следовательно дерево отказов будет иметь следующий вид.

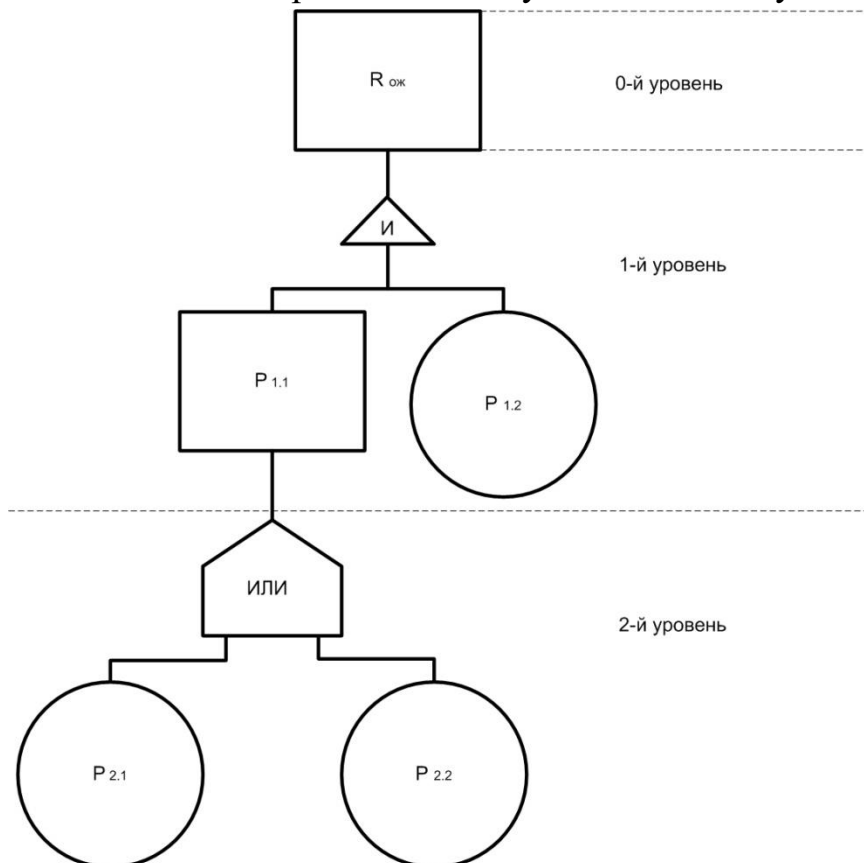


Рис. 5. Дерево отказов

Уравнения других возможных сценариев развития аварийной ситуации будут выглядеть следующим образом.

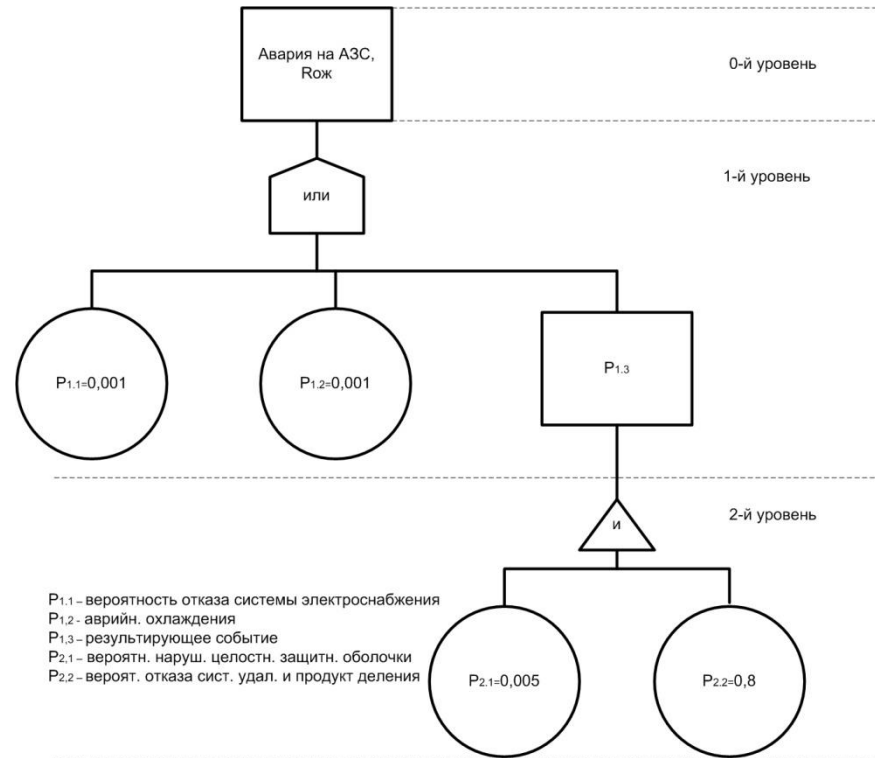
$$R_{ож1} = P_{1.2} * P_{2.1} = 0,01 * 0,01 = 0,0001$$

$$R_{ож2} = P_{1.2} * P_{2.2} = 0,01 * 0,01 = 0,00010$$

$$R_{ож3} = P_{1.2} * (1 - (1 - P_{2.1})) * (1 - P_{2.2}) = 0,01(1 - (1 - 0,01)) * (1 - 0,01) = 0,000199$$

Задание 1

Проанализировать дерево отказов гипотетической аварии при разрыве трубопровода с потерей теплоносителя в водоохлаждаемом реакторе АЭС из-за отказов системы энергоснабжения, системы аварийного охлаждения, нарушения целостности защитной оболочки и отказа системы удаления продуктов деления,



ОПРЕДЕЛИТЬ:

1. Возможные сценарии развития аварии и определить их риск:
- 2.Общий риск возникновения аварийной ситуации

Задание 2

Даны уравнения ожидаемого риска гипотетической аварии и вероятности возникновения отказов (таблицы 6 и 7)

В соответствии со своим вариантом построить дерево отказов и рассчитать ожидаемый риск возникновения аварии. Составить уравнения других возможных сценариев возникновения аварии.

Таблица 6

№	Уравнение ожидаемого риска
1	$R_{ож} = 1 - (1 - P_{2.1} * P_{3.1} * P_{3.2}) * 0 - P_{1.2}$
2	$R_{ож} = P_{1.1} * P_{2.2} * (1 - (1 - P_{3.1}) * (1 - P_{3.2}))$
3	$R_{ож} = P_{1.2} * (1 - (1 - P_{2.1}) * (1 - P_{3.1} * P_{3.2}))$
4	$R_{ож} = (1 - (1 - P_{3.1} * P_{3.2}) * (1 - P_{2.2})) * P_{1.1}$

Таблица 7

№	№	$P_{i,j}$	№	№	$P_{i,j}$	№	№	$P_{i,j}$
---	---	-----------	---	---	-----------	---	---	-----------

варианта	уравнения		варианта	уравнения		вариант а	уравнения	
1	1	0.001	9	4	0.007	17	1	0.006
2	2	0.002	10	3	0.001	18	2	0.004
3	3	0,003	11	2	0.005	19	3	0.001
4	4	0.005	12	1	0.003	20	4	0.005
5	1	0.007	13	4	0.004	21	1	0.002
6	2	0.004	14	3	0.006	22	2	0.007
7	3	0.006	15	2	0.008	23	3	0.006
8	4	0.001	16	1	0.002	24	4	0.003

Тема 5. Природный риск. Опасные природные явления.

Лабораторная работа № 5 «Стихийные явления в литосфере. Прогнозирование. Методики оценки обстановки».

Цель работы: изучить основные виды опасных геологических процессов (землетрясения, оползни, обвалы, сели, карстовые провалы), освоить методы краткосрочного и долгосрочного прогнозирования стихийных явлений в литосфере, а также приобрести практические навыки оценки последствий (обстановки) при возникновении типового литосферного стихийного бедствия для планирования защитных мероприятий и ликвидации чрезвычайной ситуации.

Теоретическая часть

1. Методика оценки инженерной обстановки при землетрясении

Обеспечение безопасности, защиты населения и территорий при ЧС, вызванных стихийными бедствиями и др., является одним из главных направлений государственной политики РФ, которую призвано решать МЧС России.

Для успешного решения такой задачи важно знать теоретические основы предмета и методики оценки обстановки в ЧС.

Под инженерной обстановкой понимается совокупность последствий воздействия аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения (ССП), оказывающих влияние на жизнедеятельность рабочих, служащих объекта экономики (ОЭ), населения и устойчивую работу ОЭ.

Оценка инженерной обстановки производится с целью определения объема и характера разрушений (зоны ЧС) и расчета необходимых сил и средств для проведения аварийно- спасательных и других неотложных работ (АС и ДНР), т.е. ликвидации последствий ЧС.

Она включает:

- определение масштаба (зоны ЧС), степени разрушения объекта и его элементов;
- анализ влияния разрушений и других негативных воздействий ЧС на население и устойчивость функционирования ОЭ;
- разработку предложения по организации и ведению АС и ДНР.

1.1 Оценка инженерной обстановки при землетрясении

Наиболее опасными геологическими процессами являются землетрясения. Так, 20% территорий РФ подвержено воздействию землетрясений интенсивностью более 7 баллов, более 5% территорий – 8-9 баллов. К ним относят Северный Кавказ, Прибайкалье, Якутию, Сахалин, Камчатку и Курильские острова.

Более 20 млн человек России постоянно подвержены угрозе разрушительных землетрясений. В течение года происходит свыше 100 000 землетрясений, которые регистрируются сейсмографами. В мире в среднем от землетрясений погибает примерно 10 000 человек.

В РФ за 1992-2000 гг. произошло более 120 ощутимых землетрясений и два сильных землетрясения: на о. Шикотан (4-5 октября 1994 г.) и в г. Нефтегорске (27 мая 1995 г.), которое привело к гибели 2000 чел. и полному разрушению города [15, 10].

Землетрясения – это сильные колебания, сотрясения или смещения земной коры, вызванные тектоническими или вулканическими процессами и приводящие к разрушению зданий, сооружений, пожарам и человеческим жертвам.

Область возникновения подземного толчка (удара) является очагом землетрясения. В его пределах и происходит процесс высвобождения накопившейся энергии. В центре очага условно выделяется точка, называемая гипоцентром, его проекция на поверхность земли носит название эпицентр. В период землетрясения из гипоцентра излучается сейсмическая энергия в форме сейсмических волн, т.е. упругих продольных и поперечных волн.

Основными характеристиками землетрясений являются:

- глубина очага землетрясения;
- магнитуда и интенсивность энергии на поверхности земли.

Глубина очага – это глубина места, где возникает подземный удар (толчок), т.е. очаг землетрясения. Глубина очага землетрясения в различных сейсмических районах лежит в пределах от 0 до 720 км.

В зависимости от глубины очага (H) землетрясения подразделяются на:

- – поверхностные ($H=0 – 70$ км);
- – промежуточные ($H=70 – 300$ км);
- – глубокие (H более 300 км).

До сих пор не было зарегистрировано ни одного землетрясения глубже 720 км. Свыше 75% энергии, выделенной при землетрясении, принадлежит поверхностным и только 3% - глубоким. Проявление землетрясений в тех или иных районах называют их сейсмичностью.

Магнитуда – мера общего количества энергии, излучаемой при сейсмическом толчке в форме упругих волн. Магнитуда является характеристикой очага землетрясения и определяет общую энергию землетрясения в нём.

Магнитуда – безразмерная величина, представляет собой логарифм максимальной амплитуды (Z_m) смещения почвы (поверхностной волны) в микронах (мкм), измеренной прибором сейсмографом (или по сейсмограмме) на расстоянии $R=100$ км от эпицентра землетрясения:

$$M = \lg Z_m - 1,32 R \quad (1)$$

Магнитуда по вектору изменяется от 0 до 9. Однако магнитуда характеризует выход сейсмической энергии только в эпицентре землетрясения. Поэтому для более объективной оценки силы колебания земной поверхности, т.е. землетрясения в точках, которые удалены от эпицентра, введено понятие интенсивность землетрясения.

Интенсивность землетрясения – это интенсивность колебания грунта на поверхности земли, являющаяся разрушительной силой землетрясения. Она зависит от магнитуды (M), расстояния от эпицентра (R) и глубины очага землетрясения (H). Интенсивность землетрясения (в баллах) в заданной точке на поверхности земли определяется зависимостью:

$$J = 3 + 1,5 \cdot M - 3,5 \cdot \lg \sqrt{R^2 + H^2} \quad (2)$$

, где 3, 1.5, 3.5 - региональные константы для РФ.

Следовательно, интенсивность землетрясения (сила, балльность или сейсмическая интенсивность) оценивает силу землетрясения на поверхности Земли. Факторами, которые определяют интенсивность землетрясений, помимо собственно сейсмической энергии, являются: расстояние до эпицентра, свойства грунта, качество строительства и др. Они характеризуют степень и масштаб разрушений, нанесенных стихией в данном конкретном

месте. Интенсивность или сила землетрясения измеряется в баллах. При этом может применяться несколько шкал:

- шкала Рихтера, которая использует величину магнитуды ($1 < M < 9$), 9-балльная;
- шкала Меркалли интенсивности землетрясения - 12-балльная;
- модифицированная шкала Меркалли ММ - в США;
- в некоторых странах Европы - шкала Меркалли КЗ;
- шкала MSK-64 (шкала Медведева, Шпонхойера, Карника), рекомендованная ЮНЕСКО, по интенсивности энергии - 12-балльная;
- шкала ИФЗ, весьма близкая к шкале Меркалли, рекомендована и положена в основу СНИП-11-7-81 "Строительство в сейсмических районах".

Все перечисленные шкалы близки между собой и интенсивность землетрясений измеряют по 12-балльной шкале.

В настоящее время в России и странах СНГ применяется международная 12-балльная шкала MSK-64 (шкала Медведева, Шпонхойера, Карника).

Итак, шкала MSK-64 подразделяет землетрясения по силе толчков на поверхности земли, т. е. по интенсивности землетрясения, на 12 баллов.

В зависимости от интенсивности землетрясения делят на:

- – слабые (I-III балла);
- – умеренные (IV балла);
- – сильные (V-VI баллов);
- – очень сильные (VII баллов);
- – разрушительные (VIII-X баллов);
- – катастрофические (XI баллов) и сильно катастрофические (XII баллов).

Одной из причин землетрясения может быть извержение вулкана, обвал горных пород и т. п. Поэтому землетрясения в зависимости от причины возникновения бывают: тектонические, вулканические, обвальные и моретрясения [15, 10].

Тектонические - возникают в результате перемещения масс земной коры под влиянием внутренних напряжений.

Вулканические - возникают при извержении вулканов. При извержении подводных вулканов могут быть огромные волны цунами и образовываться новые острова.

Обвальные - наблюдаются при обрушении сводов подземных карстовых пустот.

Моретрясения - это резкие колебания воды в морях и океанах, возникающие при землетрясениях, очаг которых находится под дном моря (океана) или в прибрежных районах. Сильное моретрясение сопровождается образованием цунами - огромных волн высотой до 30 м, скоростью до 80

км/ч. Достигая берега, она смывает береговые сооружения, приносит большие разрушения, вызывает человеческие жертвы.

Основным способом снижения потерь и ущерба при землетрясениях является строительство сейсмостойких сооружений, сейсмическое районирование территорий, прогнозирование возможных землетрясений, сейсмическое наблюдение (мониторинг), проведение АС и ДНР в зоне ЧС и т. п. .

Рассмотрим методику определения разрушения объекта при землетрясении, применяемую в практике оценки инженерной обстановки.

Максимальный ущерб объекту экономики от стихийных бедствий может быть причинён при землетрясении. Оценка предполагаемых масштабов разрушений при землетрясениях может быть произведена аналогично оценке разрушений при ядерном взрыве с той лишь разницей, что в качестве критерия берётся не значение избыточного давления (ΔP_f), а интенсивность землетрясения (J) в баллах [9, 8, 17]. При этом J на конкретном объекте по 12- балльной шкале находят по формуле (2) . Методика расчета разрушений зданий и сооружений при землетрясениях дана в работах.

В практических расчетах при оценке устойчивости ОЭ к землетрясениям характер и степень разрушений определяют по табл. 3 для различных дискретных значений интенсивности (J , баллы) в интервале от величин, вызывающих слабые разрушения элементов ОЭ (зданий, сооружений, оборудования, сети КЭС и т. п.), до величин, вызывающих полные их разрушения.

Во время землетрясений наряду с разрушениями зданий выходят из строя и системы жизнеобеспечения населения, т. е. сети коммунально-энергетического снабжения (КЭС). Оценку их устойчивости при землетрясении производят по табл. 4.

Кроме этого, при расчетах могут быть определены и безвозвратные потери среди населения (табл. 5).

Пример: Ожидаемая интенсивность землетрясения на территории объекта – IX баллов по шкале MSK-64. На его территории имеются производственные и административные здания с металлическим каркасом и крановым оборудованием 25-50 т, складские кирпичные здания, трубопроводы на металлических и железобетонных эстакадах. Определить характер разрушения элементов объекта при данном землетрясении.

Решение

По табл. 3 находим, что при IX баллах промышленные, административные здания и трубопроводы получают средние разрушения, а складские здания – сильные разрушения.

ЗАДАНИЕ:

Определить характер разрушения элементов объекта при землетрясении, устойчивость систем жизнеобеспечения, а также возможные безвозвратные потери среди населения.

ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА:

№ варианта	Ожидаемая интенсивность землетрясения на территории объекта по шкале MSK-64.	Характеристика зданий и сооружений
1.	6,5	Производственные и административные здания с металлическим каркасом и бетонным заполнением, складские кирпичные здания и трубопроводы на металлических эстакадах.
2.	7	Здания с легким металлическим каркасом и бескаркасной конструкции
3.	7,5	Кирпичные многоэтажные здания (три и более этажей)

Таблица 1.

Краткая характеристика возможной интенсивности землетрясений по 12-балльной шкале Меркалли (MSK-64)

Баллы	Краткая характеристика землетрясений
I	Отмечается только сейсмическими приборами
II	Ощущается отдельными людьми, находящимися в полном покое
III	Ощущается небольшой частью населения
IV	Легкое дребезжание и колебания предметов, посуды и оконных стекол
V	Общее сотрясение зданий, колебание мебели, трещины в оконных стеклах и штукатурке
VI	Пробуждение спящих, падение со стен картин, откалываются отдельные куски штукатурки
VII	Трещины в стенах каменных домов, антисейсмические и деревянные постройки остаются невредимыми
VIII	Трещины на почве, сдвиг или опрокидывание памятников, сильное повреждение домов
IX	Сильное разрушение каменных домов, перекосы деревянных домов
X	Трещины в почве, иногда до метра шириной, оползни, обвалы со склонов, разрушение каменных построек, искривление

	железнодорожных рельсов
XI	Более широкие трещины в поверхностных слоях земли, многочисленные обвалы, каменные дома совершенно разрушаются, выпячивание железнодорожных рельсов
XII	Большие изменения ландшафта, многочисленные трещины, обвалы, оползни, возникновение водопадов, подпруд на озерах, изменение течения рек, ни одно сооружение не выдерживает

Таблица 2.

Соотношение между шкалой Рихтера и MSK-64

Магнитуда по Рихтеру	4,0-4,9	5,0-5,9	6,0-6,9	7,0-7,9	8,0-8,9
Интенсивность по шкале MSK-64	IV-V	VI-VII	VIII-IX	IX-X	XI-XII

Таблица 3.

Степень разрушения зданий, сооружений при землетрясении

N п.п.	Характеристика зданий и сооружений	Разрушение, баллы			
		слабое	среднее	сильное	полное
1	Массивные промышленные здания с металлическим каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью 25-50 т	VII-VIII	VII-IX	IX-X	X-XII
2	Здания с легким металлическим каркасом и бескаркасной конструкции	VI-VII	VII-VIII	VIII-IX	IX-XII
3	Промышленные здания с металлическим каркасом и бетонным заполнением с площадью остекления 30%	VI-VII	VII-VIII	VIII-IX	IX-X
4	Промышленные здания с металлическим каркасом и сплошным хрупким заполнением стен и крыши	VI-VII	VII-VIII	VIII-IX	IX-XI
5	Здания из сборного железобетона	VI-VII	VII-VIII	-	VIII-XI
6	Кирпичные бескаркасные производственно-вспомогательные одно- и многоэтажные здания с перекрытием (покрытием) из железобетонных сборных элементов	VI-VII	VII-VIII	VIII-IX	IX-XI
7	То же, с перекрытием (покрытием) из деревянных элементов одно- и многоэтажные	VI	VI-VII	VII-VIII	более VIII

8	Административные многоэтажные здания с металлическим или железобетонным каркасом	VII-VIII	VIII-IX	IX-X	X-XI
9	Кирпичные малоэтажные здания (один-два этажа)	VI	VI-VII	VII-VIII	VIII-IX
10	Кирпичные многоэтажные здания (три и более этажей)	VI	VI-VII	VII-VIII	VIII-IX
11	Складские кирпичные здания	V-VI	VI-VIII	VIII-IX	IX-X
12	Трубопроводы на металлических или ж/б эстакадах	VII-VIII	VIII-IX	IX-X	-

Таблица 4.

Устойчивость систем жизнеобеспечения, %

Система	Степень повреждения, баллы				
	6	7	8	9	10
Водоснабжение	80/90	53/80	48/53	36/48	24/36
Электроснабжение	85/95	75/85	60/75	43/60	32/43
Газоснабжение	90/95	85/90	77/85	62/77	50/62
Теплоснабжение	85/90	77/85	50/77	28/50	15/28
Транспорт	90/95	85/90	68/85	55/68	20/55
Канализация	100/100	90/100	82/90	55/68	45/60
Связь	100/100	90/100	82/90	55/82	30/55

Примечание: В числителе - % систем жизнеобеспечения, способных к функционированию немедленно, а в знаменателе - после восстановительных работ в течение суток.

Таблица 5.

Безвозвратные (смертельные) потери населения при землетрясениях, %

Тип зданий	Интенсивность землетрясения, баллы							
	5	6	7	8	9	10	11	12
	Безвозвратные потери населения при землетрясениях, %							
Деревянные	0	0	0	0	3	40	65	85
Кирпичные малоэтажные (1-2 этажа)	0	0	10	15	50	55	75	85
Кирпичные многоэтажные	0	0	0	3	40	50	75	83
Кирпичные с неполной каркасной стеной	0	0	0	3	40	50	75	83

Каркасно-панельные с расчетной сейсмостойкостью в:								
VII баллов	0	0	0	0	15	40	60	80
VIII баллов	0	0	0	0	0	15	40	65
IX баллов	0	0	0	0	0	0	15	50
Промышленные с каркасом среднего типа и расчетной сейсмостойкостью в:								
VII баллов	0	0	0	0	15	40	60	80
VIII баллов	0	0	0	0	0	15	40	65
IX баллов	0	0	0	0	0	0	15	50
Промышленные с каркасом тяжелого типа и расчетной сейсмостойкостью в								
VII баллов	0	0	0	0	15	40	60	80
VIII баллов	0	0	0	0	0	15	40	65
IX баллов	0	0	0	0	0	0	15	50

2. Прогнозирование оползней

Большую часть потенциальных оползней можно предотвратить, если своевременно принять меры в начальной стадии их развития. Среди различных мероприятий особенно важное значение имеют контроль и прогнозирование оползневых процессов. Они необходимы для расположения объектов в безопасных местах; своевременного предупреждения о возникновении новых или предотвращении опасной величины и скорости смещения уже существующих оползней; выявления необходимости борьбы с оползнями или возможности эксплуатации объектов без укрепления склона.

Для предотвращения возникновения оползней необходимо организовать контроль за состоянием склонов и соблюдение охранно-противооползневого режима, а также проводить комплекс противооползневых мероприятий с учетом гидрогеологических условий и характеристики оползневого участка. Необходимые для этого данные наносят на крупномасштабные карты. На них должны быть указаны: устойчивость склонов; возможность производства земляных работ; гидрогеологические условия района; возвышенности и косогоры; места расположения стоков, дренажных бассейнов, затопляемых участков и распределение подземных вод. На эти же карты наносят места прошлых оползней и районы возможного оползания. К карте прилагается пояснительная записка с подробным описанием оползневого района (участка).

Теоретический прогноз оползней достаточно сложный, как правило, производится специалистами оползневых станций (по данным многолетних наблюдений) и может быть только вероятностным.

Принципиальная схема вероятностного прогноза возникновения нового оползня на естественном склоне в заданном районе и в заданный период времени Т (по Е.П. Емельянову) состоит в следующем:

2.1. Получение исходных данных:

Определяют среднюю годовую величину коэффициента $K_{\text{ср}}^H$ устойчивости данного склона в настоящее время (т.е. на начало периода Т), под которым понимают отношение суммарного сопротивления сдвигу вдоль какой-либо потенциальной поверхности скольжения к сумме сдвигающихся усилий вдоль этой поверхности

$$K_{\text{ср}}^H = \sum C_i \cdot l_i / \tau_i \cdot \Delta l_i, (3.)$$

где C_i - сопротивление сдвигу на i -ом участке,

τ_i - касательная напряженность,

Δl_i - абсолютная деформация.

Рассчитывают среднюю скорость необратимых изменений коэффициента устойчивости склона (за год в настоящее время и ее прогноз на период Т) $\Delta K_{\text{ср}} = f(T)$.

Определяют зависимость амплитуды А обратимых колебаний коэффициента устойчивости склона от показателей F соответствующих факторов: $A = f(\Sigma F)$.

Рассчитывают среднюю величину годовой амплитуды $A_{\text{ср}}$ отрицательного отклонения коэффициента устойчивости склона и вероятной максимальной ее величины A_{max} за период Т.

1.2.2. Анализ данных:

Определяют возможность оползня. Конечная средняя годовая величина коэффициента

устойчивости склона $K_{\text{ср}}^K$ в конце прогнозируемого периода Т составит:

$$K_{\text{ср}}^K = K_{\text{ср}}^H - T \cdot \Delta K_{\text{ср}},$$

Если:

$$K_{\text{ср}}^K - A_{\text{max}} > 1 \quad K_{\text{ср}}^K - A_{\text{max}} < 1 \quad K_{\text{ср}}^K - A_{\text{ср}} < 1$$

- оползень маловероятен

- оползень возможен:

- вероятность оползня очень велика.

Рассчитывают вероятное время $t_{\text{оп}}$ смещения оползня (лет от начала прогнозируемого периода), т.е. наиболее вероятно смещение оползня в этот период по формуле

от $(K^H_{\text{ср}} - A_{\text{max}} - 1) / \Delta K_{\text{ср}}$ до $(K^H_{\text{ср}} - A_{\text{ср}} - 1) / \Delta K_{\text{ср}}$. (4)

Пример: Определить вероятное время возникновения оползня в горизонтальных склонах.

Исходные данные: прогнозируемый период $T = 50$ лет; значение среднего начального коэффициента устойчивости склона $K^H_{\text{ср}} = 1,27$. Сравнительно равномерный подмыв подошвы склона и сопутствующие процессы обуславливают среднее годовое уменьшение коэффициента его устойчивости $\Delta K_{\text{ср}} = 5 \cdot 10^{-3}$; среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости склона в результате колебаний его водонасыщения и перегрузки основания наносами $A_{\text{ср}} = \pm 3 \cdot 10^{-2}$.

Максимальное негативное отклонение коэффициента устойчивости склона за 50 лет (соответствующее наиболее неблагоприятному сочетанию факторов в течение года 2%-й обеспеченности) $A_{\text{max}} = -0,1$.

Решение:

Наиболее вероятное смещение оползня по формуле 4 следует ожидать в период

от $(1,27 - 0,10 - 1,0) / 0,005$ до $(1,27 - 0,03 - 1,0) / 0,005$, т.е. через 34...48 лет.

Следовательно, возведение на этом склоне объекта со сроком амортизации 50 лет и более, требует дополнительного проведения противооползневых мероприятий. Тем не менее временные (рассчитанные на 10...15 лет) объекты в настоящее время и в ближайшие годы возводить можно.

На практике обычно заблаговременно выявляют условие, изменение которого способно вызывать оползни участка склона, и выполняют все противооползневые мероприятия, повышающие устойчивость пород. Для этого в пределах выявления причин возникновения оползневых смещений, изучения их динамики и определения противооползневых мероприятий наблюдение ведут специальные посты со специалистами оползневых станций, в задачу которых входит контроль: за колебанием уровней воды в колодцах дренажных сооружений, в буровых скважинах, реках, озерах и водохранилищах; за режимом подземных вод; скоростью и направлением оползневых смещений; выпадением и стоком атмосферных осадков.

На наиболее ответственных участках такие посты оборудуют створы глубинных реперов и наблюдают за ними. В качестве реперов обычно используют буровые штанги длиной 2...2,5 м. В районах глубокого промерзания штанги-реперы устанавливают на глубину до 3 м и заливают раствором цемента. Особенно внимательно наблюдение за реперами ведут в

осенне-весенний период, когда выпадает наибольшее количество осадков (являющихся одной из основных причин возникновения оползней).

На основании анализа результатов проведенных наблюдений выявляют оползневые районы и выполняют противооползневые работы на тех участках, где зафиксировано смещение пород.

ЗАДАНИЕ:

Определить вероятное время возникновения оползня в горизонтальных склонах.

ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА:

Но варианта	Прогнозируемый период, лет	Значение среднего начального коэффициента устойчивости склона $K_{H_{cp}}$	Среднее годовое уменьшение коэффициента его устойчивости и ΔK_{cp}	Среднее годовое отрицательное отклонение коэффициента устойчивости склона в результате колебаний его водонасыщения и перегрузки основания наносами A_{cp}	Максимальное негативное отклонение коэффициента устойчивости склона за 50 лет A_{max}
1.	35	1,26	$4,56 \cdot 10^{-3}$	$\pm 2,97 \cdot 10^{-2}$	- 0,11
2.	50	1,27	$5 \cdot 10^{-3}$	$\pm 3 \cdot 10^{-2}$	- 0,13
3.	70	1,28	$5,12 \cdot 10^{-3}$	$\pm 3,21 \cdot 10^{-2}$	- 0

Тема 6. Техногенный риск. Проблемы техногенной безопасности.

Лабораторная работа № 6 «Расчет риска угрозы здоровью, вызванной загрязнением»

Цель работы: освоить методику оценки риска для здоровья населения при воздействии химических загрязнителей (атмосферного воздуха, воды, почвы), научиться рассчитывать индивидуальный и популяционный риск развития неканцерогенных и канцерогенных эффектов, а также

интерпретировать полученные результаты с позиций приемлемого риска и принятия управленческих решений в области экологической безопасности.

Теоретическая часть

Загрязнение гидросферы приводит к попаданию вредных веществ в пищевые цепи, в том числе и те, в которых конечным потребителем (консументом) является человек.

Типичный путь загрязнителей:

выброс в поверхностные воды (реки, озера) → водная флора и фауна → рыба
→ человек.

Как оценить угрозу здоровью, вызванную загрязнением среды обитания? Теория риска позволяет рассчитать вероятность вреда, вызванного попаданием ядовитых веществ в организм человека. Такой расчет может послужить основой для принятия тех или иных профилактических мер.

Что означает рассчитать риск угрозы здоровью? Представим, что в питьевой воде (например, в колодце) обнаружено некоторое количество какого-то тяжелого металла (или пестицида, или нефтепродукта, или радиоактивного вещества). Предположим, что концентрация выявленного загрязнителя оказалась равной его предельно допустимой концентрации (ПДК). Насколько, в среднем, может сократиться жизнь человека, пьющего такую воду на протяжении, скажем, двух лет? Теория риска способна дать ответ на поставленный вопрос, который может быть, например, таким: опасность невелика, но риск не является нулевым, среднее сокращение жизни человека может составить, к примеру, 5 дней.

Теперь представим, что в воде колодца соседней местности обнаружен какой-то другой загрязнитель, концентрация которого также оказалась равной его ПДК в воде. Какова угроза здоровью в этом случае? С помощью теории риска можно получить такой ответ: если человек будет пить эту воду в течение двух лет (как и в первом случае), то продолжительность его жизни сократится, но уже, например, на 25 дней. Следовательно, очистке воды второго колодца следует отдать предпочтение, именно туда надо направить имеющиеся силы и средства.

Таким образом, использование концепции риска позволяет делать количественный прогноз последствий загрязнения окружающей среды, в том числе и гидросферы.

Об экологическом нормировании

Под экологическим нормированием понимается совокупность требований к качеству окружающей среды. Целью таких требований является ограничение степени загрязнения компонентов среды обитания. Возможны разные подходы к экологическому нормированию.

Санитарно-гигиеническое нормирование основано на концепции предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в почвах, воздухе, поверхностных и подземных водах, в продуктах питания. Термин ПДК подразумевает такую концентрацию химического элемента и/или его соединений в компонентах среды обитания, которая при повседневном влиянии на организм человека в течение длительного времени не вызывает паталогических изменений или заболеваний, устанавливаемых современными методами исследований в любые периоды жизни настоящего и последующего поколений [1].

Другой подход к экологическому нормированию основан на введении ограничений не на уровень вредных веществ в отдельных средах, а на общий объем выбросов, определяющий их поступление в среду обитания. Дело в том, что ориентация только на ПДК привела к тому, что задачи по достижению их уровней все чаще стали решать путем более эффективного рассеивания загрязнителей. Для этого стоки промышленных предприятий разбавлялись чистой водой, а выбросы газов и аэрозолей производились через дымовые трубы большой высоты. В английском языке появилась «экологическая» поговорка: «The best solution for pollution is dilution» («Наилучшее решение проблемы загрязнения – разбавление»).

Но рассеивание далеко не всегда снижает уровень загрязнения среды обитания. Экологические исследования показали, что в районах крупных промышленных центров при концентрациях токсикантов в атмосфере на уровне ПДК неизбежно происходит накопление одного или нескольких таких токсикантов в каком-либо компоненте окружающей среды. Например, было показано, что при содержании ртути в воздухе, расной ПДК, за счет атмосферных осадений на почвы и последующего смыва концентрация этого элемента в водоемах может в десятки раз превысить ПДК в воде [2].

Таким образом, подход к экологическому нормированию, ориентированный на общий объем выбросов, должен определить значения предельно допустимых выбросов (ПДВ) и сбросов (ПДС) загрязняющих веществ в окружающую среду. Эти значения должны соответствовать установленным предельным нагрузкам на экосистемы и тем самым сохранять их стабильность.

В документе «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды центральных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (СанПиН 2.1.4.1074-01) приведены значения ПДК загрязнителей питьевой воды, действующие в России [3]. Данные по ПДК некоторых неорганических и органических веществ в питьевой воде приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Вещества	ПДК, мг/л	Вещества	ПДК, мг/л
Алюминий	0,5	Мышьяк	0,05
Барий	0,1	Никель	0,1
Бериллий	0,0002	Нитраты	45
Бор	0,5	Ртуть	0,0005
Железо	0,3	Свинец	0,03
Кадмий	0,001	Селен	0,01
Марганец	0,1	Стронций	7,0
Медь	1,0	Хром (VI)	0,05
Молибден	0,25	Цинк	5,0

Таблица 2

Вещества	ПДК, мг/л
Бензол	0,01
Хлорбензол	0,02
Нитробензол	0,2
Фенол	0,001
Дихлорфенол	0,002
Трихлорфенол	0,004
Трифенилфосфит	0,01
Четыреххлористый	0,006
углерод	0,002
ДДТ (сумма изомеров)	

Кроме ПДК, используется термин «допустимая среднесуточная доза (ДСД)», выражаемая среднесуточным количеством мг вещества, отнесенного на один кг массы тела.

С целью количественного оценивания степени техногенного воздействия на экосистемы было предложено использовать биогеохимические показатели. По биогеохимическим показателям состояния экосистем на территории России можно выделить зоны четырех типов [4]:

I – зоны экологической нормы, которым соответствует класс удовлетворительного состояния среды;

II – зоны экологического риска, которым соответствует класс условно удовлетворительного состояния среды;

III – зоны экологического кризиса, которым соответствует класс неудовлетворительного состояния среды;

IV – зоны экологического бедствия, которым соответствует класс катастрофического состояния среды.

В соответствии с новым подходом к экологической безопасности, основанным на концепции риска, различают индивидуальный и коллективный риски.

Индивидуальный риск определяется вероятностью экстремального вреда – смерти индивидуума от некоторой причины, рассчитываемой для всей его жизни или для одного года.

Коллективный риск чаще всего определяют количеством смертей от некоторой причины, действующей в течение определенного интервала времени (например, в течение 5 лет) на определенное количество людей (например, 10 тыс. человек).

Два важнейших понятия – **максимально допустимый риск** и **пренебрежимо малый** (безусловно приемлемый) **риск**.

Риск признается пренебрежимым, если его уровень в силу своей малости не может быть надежно выявлен на фоне уже имеющихся рисков. В большинстве стран Западной Европы индивидуальный риск, которому подвергается население (а не работающий на производстве персонал), считается пренебрежимым, если его уровень не превышает величины 10^{-6} за год. Таким образом, значение пренебрежимого индивидуального риска составляет $1 \cdot 10^{-6} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$. Это означает, что данная причина, действующая в течение одного года, увеличивает вероятность смерти от нее на одну миллионную. Иначе говоря, если эта причина действует в течение года на миллион человек, то от нее может погибнуть один человек [5, 6].

Для сравнения, в США индивидуальный допустимый риск, составляющий 10^{-6} , установлен не для одного года, а для всей жизни человека, средняя продолжительность которой принимается равной 70 годам. Следовательно, ежегодный индивидуальный допустимый риск составляет в США величину, равную $10^{-6}/70 = 1,43 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$.

Верхняя граница допустимого риска (максимально допустимый риск) различна у населения и персонала, работающего во вредных условиях. В России максимально допустимый индивидуальный риск для техногенного облучения лиц из персонала принят равным $1,0 \cdot 10^{-3}$ за год, а для населения –

$5,0 \cdot 10^{-5}$ за год (последняя величина в 50 раз превышает уровень пренебрежимого риска, который в России принят равным 10^{-6} за год) [5]. Согласно нормативам Агентства США по окружающей среде верхняя граница допустимого (приемлемого) риска от воздействия веществ с канцерогенными свойствами составляет 10^{-4} .

Каждое вредное вещество, попавшее в окружающую среду, создает риск угрозы здоровью. Этот риск зависит от дозы вещества, поступившей в организм человека. Зависимость риска от дозы загрязнителя может быть различной, основные виды этой зависимости представлены на рисунке.

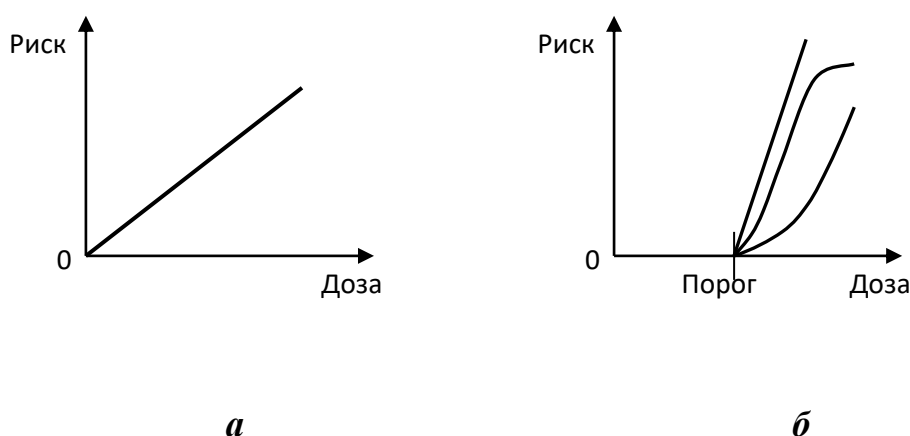


Рис. Зависимость риска угрозы здоровью от дозы загрязнителя: *а* – линейная зависимость (беспороговый загрязнитель); *б* – сложная связь (пороговый загрязнитель)

Первым видом зависимости характеризуются загрязнители, негативное действие которых начинается уже при очень малых дозах. Такие вещества называются **беспороговыми**. Негативные эффекты, обусловленные воздействием многих беспороговых загрязнителей, растут прямо пропорционально их дозе, которая, в свою очередь, прямо пропорциональна концентрации загрязнителя в воздухе, воде или продуктах питания. Это линейная связь между риском и дозой загрязнителя, она представлена на рис. (а). Линейной зависимостью риска от дозы характеризуются канцерогены – как нерадиоактивные, так и радионуклиды, действие которых приводит к внутреннему или внешнему облучению человека.

Зависимостью второго вида обладают **пороговые** загрязнители, действие которых вызывает негативные последствия, только когда величина дозы превзойдет некоторое пороговое значение. Один из вариантов такой зависимости риска от дозы представлен на рис. (б). Считается, что пороговыми загрязнителями являются токсические, но неканцерогенные вещества.

Доза загрязнителя D определяется произведением его концентрации в воздухе, питьевой воде или пищевых продуктах C , скорости его поступления в организм v и временем поступления в организм t :

$$D = C \cdot v \cdot t.$$

Концентрацию C для воды выражают в мг/л, для воздуха – в мг/м³, для продуктов питания – в мг/кг. Скорость (интенсивность) поступления v измеряется в л/сутки для воды, для воздуха – в л/мин или м³/сутки, для продуктов питания – в кг/день или кг/год.

Для расчета рисков, обусловленных присутствием вредных веществ в компонентах среды обитания, необходимо знать стандартные количества воздуха, воды, поступающих в организм человека, а также средние количества продуктов питания. В табл. 4 приведены стандарты объема воздуха и массы воды, поступающие в организм взрослого человека, принятые в РФ [6].

Таблица 4

Контингент	Воздух	Вода
Население	$7,3 \cdot 10^6$ л/год = 20 м ³ /сут	730 л/год = 2 л/сут
Персонал	$2,5 \cdot 10^6$ л/год = 10 м ³ /день (если в году 250 рабочих дней)	0

Оценка риска угрозы здоровью при воздействии пороговых токсикантов

Негативное воздействие должно характеризоваться значением той **пороговой дозы** (или **мощности дозы**, т. е. величиной дозы, отнесенной к некоторому интервалу времени), начиная с которой появляются неблагоприятные последствия. 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-effect-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-effect-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. наинизший 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. наинизший 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 , на их произведение делят величину пороговой мощности дозы:

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

где $H_{D(i)}$ – любое из представленных выше значений пороговой мощности дозы, а H_D – ее скорректированное значение.

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 F_1 приписывают максимальное значение, равное 10. Если биокинетика и механизмы токсичности у экспериментальных животных и людей схожи, то $F_1 = 1$.

Коэффициент F_2 ответственен 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 F_3 повышает надежность расчетов, связанных с переходом от сравнительно кратковременных наблюдений 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 $F_3 = 100$.

Таким образом, 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 $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 10 \cdot 100 \cdot 10 = 10000$.

Можно сказать, что эти коэффициенты выполняют роль факторов переставки, так как в расчеты риска будут входить намеренно заниженные значения пороговой мощности дозы. Например, для тетраэтилсвинца в результате опытов с животными было получено значение H_{LOAEL} , равное 0,0012 мг/(кг·сут). Но из-за несовершенства условий экспериментов коэффициентам неопределенности пришлось приписать наибольшие значения, поэтому скорректированное значение пороговой мощности дозы H_D при поступлении этого токсиканта с водой или пищей составило $0,0012:10000 = 1,2 \cdot 10^{-7}$ мг/(кг·сут).

В случае другого токсиканта – фенола – выполненные эксперименты характеризовались существенно меньшей неопределенностью, произведение $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$ оказалось равным 100. Поскольку значение H_{NOAEL} было при поступлении фенола с водой или пищей равно 60 мг/(кг·сут), скорректированное значение пороговой мощности дозы H_D составило $60:100 = 0,6$ мг/(кг·сут).

Единица мощности пороговой дозы – мг/(кг·сут) – связана зависимостью воздействия поступающего в организм токсиканта от массы тела. Перед тем, как зафиксировать значение этой дозы для людей, проводятся опыты на животных, причем используются, как правило, несколько групп животных, для каждой из них принимается средняя величина массы тела. Часто объектами таких опытов становятся мыши, крысы, морские свинки и кролики.

Значения пороговой мощности дозы H_D при поступлении некоторых токсикантов-неканцерогенов с водой и пищей приведены (в порядке убывания пороговой мощности дозы) в табл. 5 и 6 [7].

Таблица 5

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	$5 \cdot 10^{-3}$
Барий	0,2	Хром (VI)	$5 \cdot 10^{-3}$
Бор	0,2	Кадмий	$5 \cdot 10^{-4}$
Марганец	0,14	Сурьма	$4 \cdot 10^{-4}$
Хлор	0,1	Мышьяк	$3 \cdot 10^{-4}$
Медь	0,04	Ртуть (хлорид)	$3 \cdot 10^{-4}$
Никель	0,02	Таллий (хлорид, карбонат)	$8 \cdot 10^{-5}$

Таблица 6

Токсикант, поступающий с водой и пищей	H_D , мг/(кг·сут)
Этиленгликоль	2
Ацетон	0,9
Нефтепродукты	0,6
Фенол	0,6
Метанол	0,5
Формальдегид	0,2
Пентахлорфенол	$3 \cdot 10^{-2}$
$\text{C}_6\text{Cl}_5\text{OH}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Бензол	$3 \cdot 10^{-3}$
Винилхлорид	$5 \cdot 10^{-4}$
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	$5 \cdot 10^{-4}$
ДДТ	$1 \cdot 10^{-4}$
Метилртуть $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$	$1,2 \cdot 10^{-7}$
Тетраэтилсвинец	

При решении задач, связанных с потреблением питьевой воды, среднесуточное поступление токсиканта с водой на 1 кг массы тела человека m определяется по следующей формуле [8]:

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T},$$

где C – концентрация токсиканта 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 токсиканта; T_p – количество лет, в течение которых потребляется рассматриваемая питьевая вода; P – средняя масса 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 (10950 сут).

После того, как вычислено среднесуточное поступление токсиканта, отнесенное к 1 кг массы тела, рассчитывается величина, называемая **индексом опасности**. Ее обозначают через HQ (от слов Hazard Quotient) и определяют выражением:

$$HQ = \frac{m}{H_D},$$

где H_D – пороговая мощность дозы, значения которой приведены в табл. 22–24.

Если $HQ < 1$, то опасности нет, риска угрозы здоровью нет. Если $HQ > 1$, то существует опасность отравления, которая тем больше, чем больше индекс HQ превышает единицу.

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

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots$$

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

Задачи

Задача 1 (пример)

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 (0,05 мг/л). Данным колодцем пользуются в течение 6 лет. Рассчитать индивидуальный риск угрозы здоровью.

$$C = 10\text{ПДК} = 0,5 \text{ мг/л};$$

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$T_p = 6 \text{ лет};$$

$$f = 365 \text{ сут/год};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

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

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

Решение

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

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{0,5(\text{мг/л}) \cdot 2(\text{л/сут}) \cdot 365(\text{сут/год}) \cdot 6(\text{лет})}{70(\text{кг}) \cdot 10950(\text{сут})} = \frac{2190(\text{мг})}{766500(\text{кг} \cdot \text{сут})}$$

$$= 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ мг/кг} \cdot \text{сут.}$$

Индекс опасности:

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

Опасности отравления нет, риска угрозы здоровью нет.

Задача 2

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. Учесть, что ежегодно этот человек уезжает из данной местности в отпуск, в котором проводит в среднем 30 дней. Пороговая мощность дозы ДДТ при попадании в организм с водой составляет $5 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·сут).

$$C = 0,006 \text{ мг/л};$$

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$f = 335 \text{ сут/год};$$

$$T_p = 1 \text{ год};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

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

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

Задача 3

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

На протяжении каждого года действие токсикантов длится в среднем 300 дней. Пороговая мощность дозы составляет $5 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·сут) для кадмия и $3 \cdot 10^{-4}$ мг/(кг·сут) для ртути.

$$C_{Cd} = \text{ПДК} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/л};$$

$$C_{Hg} = \text{ПДК} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/л};$$

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$f = 300 \text{ сут/год};$$

$$T_p = 10 \text{ лет};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

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

$$H_{D(Cd)} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг·сут};$$

$$H_{D(Hg)} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ мг/кг·сут}.$$

ИДЗ 1

В воде водохранилища обнаружено вещество с концентрацией C . Водохранилище является источником питьевого водоснабжения. Ежегодно этот человек уезжает из этой местности в отпуск, в котором проводит в среднем 30 дней. Пороговая мощность дозы загрязнителя при попадании в организм с водой составляет H_D . Скорость поступления воды в организм человека $v = 2$ л/сут. Средняя масса взрослого человека $P = 70$ кг. Усредненное время воздействия токсиканта $T = 30$ лет = 10950 сут.

Сравнить концентрацию токсиканта с его ПДК. Рассчитать риск угрозы здоровью человека, пьющего такую воду в течение количества лет T_p .

№ варианта Исходные данные	1	2	3	4	5	6
Токсикант	фенол	фенол	бензол	бензол	кадмий	кадмий
C , мг/л	3	30	0,01	0,1	0,01	0,1
T_p , лет	3	5	3	5	3	5
H_D , мг/(кг·сут)	0,6	0,6	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$

№ варианта Исходные данные	7	8	9	10	11	12

Токсикант	ртуть	ртуть	никель	никель	марганец	марганец
C , мг/л	0,005	0,05	0,1	1,0	0,1	1,0
T_p , лет	3	5	3	5	3	5
H_D , мг/(кг·сут)	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	0,02	0,02	0,14	0,14

Лабораторная работа №7 «Оценка риска угрозы здоровью при воздействии беспороговых токсикантов (нерадиоактивных канцерогенов)»

К канцерогенам относят вещества, воздействие которых достоверно увеличивает частоту возникновения опухолей (доброкачественных и/или злокачественных) в популяциях человека и/или животных и/или сокращает время развития этих опухолей. 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 онкозаболеваний (т. е. канцерогенный риск) прямо пропорциональна количеству (дозе) канцерогена, введенного в организм. Совокупность этих двух положений называют беспороговой линейной моделью [1].

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

$$r = F_r \cdot D,$$

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 F_r 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 (Slope Factor), так как он характеризует угол наклона прямой зависимости «риск – доза» (рис. (а)). Очевидно, что чем больше угол наклона, тем больше угроза здоровью.

Единица фактора риска F_r – $[\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$; она обратно пропорциональна 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.

Часто индивидуальный канцерогенный риск вычисляют по формуле:

$$r = m \cdot F_r,$$

где m – среднесуточное поступление канцерогена с воздухом, водой или с пищей, отнесенное к 1 кг массы тела человека, мг/(кг·сут).

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

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

В таблице ниже приведены значения факторов риска F_r (в порядке его возрастания) при поступлении в организм человека ряда канцерогенов с водой и пищей.

Таблица

Канцерогены	F_r , [мг/(кг·сут)] ⁻¹	Канцерогены	F_r , [мг/(кг·сут)] ⁻¹
Свинец и его соединения	$8,5 \cdot 10^{-3}$	Тетрахлорэтилен	0,54
Хлороформ	$3,1 \cdot 10^{-2}$	Мышьяк	1,75
Бензол	$5,5 \cdot 10^{-2}$	Винилхлорид	1,9
Пентахлорфенол	0,12	Бериллий, оксид	7,0
C_6Cl_5OH	0,27	Полихлорированные бифенилы	5,0
Хлорбензол C_6H_5Cl	0,3	Бенз(а)пирен	$3 \cdot 10^3$
ДДТ	0,38	Бериллий (сульфат)	$1,6 \cdot 10^5$
Кадмий и его соединения	0,4	Диоксины (смесь)	
Трихлорэтилен			

Методика решения задач рекомендована Агентством по защите окружающей среды США [2].

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

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T},$$

где C – концентрация канцерогена в питьевой воде, мг/л; v – скорость поступления воды в организм человека, л/сут (считается, что взрослый человек выпивает ежесуточно 2 литра воды); f – количество дней в году, в

течение которых происходит воздействие канцерогена; T_p – количество лет, в течение которых происходит воздействие канцерогена; P – средняя масса взрослого человека, принимаемая равной 70 кг; T – усредненное время воздействия канцерогена, в качестве которого принимается средняя продолжительность жизни человека, считающаяся равной 70 годам (25550 сут).

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

$$r = m \cdot F_r,$$

где F_r – фактор риска, выражаемый в $[\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$.

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:

$$r_t = r_1 + r_2 + \dots$$

Коллективный канцерогенный риск R определяется формулами:

$$R = r \cdot N,$$

$$R_t = r_t \cdot N,$$

где N – количество человек, подвергающихся данному риску.

Задачи

Задача 1 (пример)

Рассчитать индивидуальный и коллективный риски угрозы здоровью для следующих условий. Содержание диоксинов в питьевой воде равно 10ПДК этих веществ в воде, ПДК составляет $2 \cdot 10^{-8}$ мг/л. Время потребления такой воды группой в 10^3 человек – 5 лет. Средняя частота потребления – 300 дней в году. Фактор риска при поступлении диоксинов с водой равен $1,6 \cdot 10^5$ $[\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$.

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

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$f = 300 \text{ сут/год};$$

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

$$T_p = 5 \text{ лет};$$

$$N = 10^3 \text{ чел};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

$$T = 70 \text{ лет.}$$

Решение

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

$$m = \frac{C \cdot v \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T} = \frac{2 \cdot 10^{-7} (\text{мг} / \text{л}) \cdot 2 (\text{л} / \text{сут}) \cdot 300 (\text{сут} / \text{год}) \cdot 5 (\text{лет})}{70 (\text{кг}) \cdot 25550 (\text{сут})} = \frac{6 \cdot 10^{-4} (\text{мг})}{1788500 (\text{кг} \cdot \text{сут})} = 3,4 \cdot 10^{-10} \text{ мг} / \text{кг} \cdot \text{сут.}$$

Индивидуальный канцерогенный риск:

$$r = m \cdot F_r = 3,4 \cdot 10^{-10} (\text{мг} / \text{кг} \cdot \text{сут}) \times 1,6 \cdot 10^5 ((\text{мг} / \text{кг} \cdot \text{сут})^{-1}) = 5,4 \cdot 10^{-5}.$$

Если привести к одному году, то индивидуальный риск будет равен $5,4 \cdot 10^{-5} : 5 = 1,1 \cdot 10^{-5}$. Это значение ниже уровня допустимого риска, который считается равным $1 \cdot 10^{-4} \text{ чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Коллективный риск $R = r \cdot N$, для условий данной задачи

$$R = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ чел}^{-1} \times 10^3 \text{ чел} = 0,054 \ll 1.$$

Таким образом, в рассматриваемом случае можно ожидать, что в течение 5 лет не будет наблюдаться ни одного дополнительного случая появления онкологического заболевания.

Задача 2

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 $1,9 [\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$, и мышьяк с концентрацией, равной его ПДК в питьевой воде (0,05 мг/л). Фактор риска при поступлении мышьяка с водой равен $1,75 [\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1}$. Такая вода потребляется в течение 3 лет, причем в течение каждого года она потребляется в среднем в течение 300 дней.

Винилхлорид:

$$C_1 = 0,3 \text{ мг/л};$$

$$F_{r(1)} = 1,9 [\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1};$$

Мышьяк:

$$C_2 = 0,05 \text{ мг/л};$$

$$F_{r(2)} = 1,75 [\text{мг}/(\text{кг} \cdot \text{сут})]^{-1};$$

$$f = 300 \text{ сут/год};$$

$$T_p = 3 \text{ года};$$

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

$$T = 70 \text{ лет.}$$

Задача 3

В Российской Федерации значение ПДК бензо(а)пирена в поверхностных водах принято равным 5 нг/л. Содержание этого канцерогена в воде некоторого населенного пункта превысило данную величину в 5 раз. Каков коллективный риск угрозы здоровью для группы людей численностью 100000 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 $12 \text{ [мг/(кг·сут)]}^{-1}$.

$$C = 5\text{ПДК} = 25 \cdot 10^9 \text{ нг/л} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ мг/л};$$

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$f = 330 \text{ сут/год};$$

$$F_r = 12 \text{ [мг/(кг·сут)]}^{-1};$$

$$T_p = 3 \text{ года};$$

$$N = 1 \cdot 10^5 \text{ чел};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

$$T = 70 \text{ лет.}$$

Задача ИДЗ 2

Рассчитать риск в виде количества дополнительных случаев онкологических заболеваний среди жителей поселка с населением N человек в результате потребления воды с содержанием канцерогена C . Такая вода потребляется в течение 30 лет, причем в течение каждого года она потребляется в среднем в течение 300 дней. Фактор риска F_r .

$$C = 25 \text{ мкг/л} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ мг/л};$$

$$v = 2 \text{ л/сут};$$

$$f = 300 \text{ сут/год};$$

$$F_r = 0,4 \text{ [мг/(кг·сут)]}^{-1};$$

$$T_p = 30 \text{ лет};$$

$$N = 10^4 \text{ чел};$$

$$P = 70 \text{ кг};$$

$$T = 70 \text{ лет.}$$

№	1	2	3	4	5	6
варианта						
Исходные данные						

Канцероген	Хлорбензол		ДДТ		Трихлорэтил ен	
N , человек	10^4	10^5	10^4	10^5	10^4	10^5
C , мг/л	0,01	0,05	0,001	0,01	0,05	0,07
$F_r = 0,4 \text{ [мг/(кг·сут)]}^{-1}$	0,27	0,27	0,3	0,3	0,4	0,4

№ варианта Исходные данные	7	8	9	10	11	12
Канцероген	Тетрахлорэтилен		Бериллий, оксид		Бенз(а)пирен	
N , человек	10^4	10^5	10^4	10^5	10^4	10^5
C , мг/л	0,02	0,05	0,001	0,01	0,0001	0,0005
$F_r = 0,4 \text{ [мг/(кг·сут)]}^{-1}$	0,54	0,54	7,0	7,0	12	12

Тема 7. Основные методы снижения экологического риска от загрязнения окружающей среды

Лабораторная работа №8 «Расчет необходимой степени очистки сточных вод»

Цель работы: Изучить основные методы снижения и предотвращения загрязнения окружающей среды (организационные, технологические, инженерно-экологические), освоить количественную оценку эффективности этих методов на основе расчета изменения экологического риска для здоровья населения, и научиться выбирать наиболее эффективные мероприятия по снижению риска до приемлемого уровня.

Классификация методов снижения экологического риска

Группа методов	Примеры	Механизм снижения риска
Технологические	Замена сырья, замкнутые циклы, малоотходные технологии	Уменьшение массы выбросов (источник)
Инженерно-экологические	Пылегазоочистка (циклоны, скрубберы, фильтры), биологическая очистка сточных вод	Снижение концентрации загрязнителя перед выбросом
Организационно-управленческие	Нормирование ПДВ, санитарно-защитные зоны, ограничение времени работы	Снижение экспозиции населения
Планировочные	Рассеивание через высокие трубы, зонирование территории	Уменьшение приземной концентрации

При выпуске сточных вод в водные объекты необходимо, чтобы вода водного объекта в расчетном створе удовлетворяла санитарным требованиям.

Основные виды расчетов необходимой степени очистки сточных вод:

1. Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ.
2. Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию растворенного в воде водоема кислорода.
3. Расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК_{полн} смеси воды водного объекта и сточных вод.
4. Расчет допустимой температуры сточных вод перед сбросом их в водные объекты.
5. Расчет необходимой степени очистки сточных вод по вредным веществам.
6. Расчет необходимой степени очистки по изменению активной реакции воды.
7. Расчет необходимой степени очистки сточных вод по запаху и окраске.

Рассмотрим некоторые основные методы расчета необходимой степени очистки сточных вод.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ

Концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде, разрешенной к сбросу в водный объект, определяют из выражения:

$$\tilde{N}_{\hat{\tau}} = P \left(\frac{\gamma Q}{q} + 1 \right) + C_{\delta}, \quad (1)$$

где C_{ϕ} – концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до сброса сточных вод, мг/л; P – разрешенное санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в воде водного объекта в расчетном створе (Правила).

Рассчитав необходимую концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде ($C_{оч}$) и зная концентрацию взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистку ($C_{ст}$), определяют требуемую эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам по формуле:

$$\dot{Y}_{\hat{a}\hat{c}\hat{a}} = \frac{\tilde{N}_{\hat{n}\hat{o}} - \tilde{N}_{\hat{\tau}}}{\tilde{N}_{\hat{n}\hat{o}}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Расчет допустимой температуры сточных вод перед сбросом их в водные объекты

Расчет ведут исходя из условий, что температура воды водного объекта не должна повышаться более величины, оговоренной «Гигиеническими

требованиями к охране поверхностных вод» в зависимости от вида водопользования.

Температура сточных вод, разрешенных к сбросу, должна удовлетворять условию:

$$T_{\text{ст}} \leq n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{в}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{доп}}$ – допустимое повышение температуры; $T_{\text{в}}$ – температура водного объекта до места сброса сточных вод.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода

Содержание растворенного кислорода в водном объекте в результате сброса в него сточных вод не должно быть менее 4 мг/дм³ в любой период года, в пробе, отобранной до 12 часов дня (СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод).

Расчет ведут по БПК_{полн} в очищенных сточных водах ($L_{\text{см}}$) из условия сохранения в расчетном створе допустимой концентрации растворенного кислорода:

$$L_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{\gamma \cdot Q}{0,4q_{\tilde{n}\tilde{o}}} (\hat{I}_{\tilde{A}} - 0,4L_{\tilde{A}} - O) - \frac{\hat{I}}{0,4}, \quad (4)$$

где $L_{\text{в}}$ – полное биохимическое потребление кислорода водой водотока, г/м³; γ – коэффициент смешения; $O_{\text{в}}$ – содержание растворенного кислорода в водотоке до места выпуска сточных вод, г/м³; $L_{\text{ст}}$ – полное биохимическое потребление кислорода сточной водой, допустимой к сбросу, г/м³; O – минимальное содержание растворенного кислорода водного объекта, г/м³; 0,4 – коэффициент для пересчета БПК_{полн} в БПК₂.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по БПК_{полн} смеси воды водного объекта и сточных вод

При сбросе сточных вод в водные объекты снижение концентрации органических веществ происходит как за счет разбавления, так и благодаря процессам самоочищения. При протекании процесса самоочищения скорость изменения БПК пропорциональна количеству кислорода, потребного для биологического окисления органических веществ.

Расчет ведут по БПК_{полн} сточных вод, допустимых к отводу в водные объекты:

$$L_{\tilde{n}\tilde{o}} = \frac{\gamma \cdot Q}{q_{\tilde{n}\tilde{o}} 10^{-k_{\tilde{n}\tilde{o}} t}} (L_{\tilde{I}\tilde{A}\tilde{E}} - L_{\tilde{A}} \cdot 10^{-k_{\tilde{A}} t}) + \frac{L_{\tilde{I}\tilde{A}\tilde{E}}}{10^{-k_{\tilde{n}\tilde{o}} t}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{см}}$, $k_{\text{в}}$ – константы скорости потребления кислорода соответственно сточной водой и водой водного объекта; $L_{\text{ПДК}}$ – значение допустимой

концентрации $\text{БПК}_{\text{полн}}$ смеси сточных вод и воды водного объекта в расчетном створе, мг/л; L_B – $\text{БПК}_{\text{полн}}$ воды водного объекта до места выпуска сточных вод, мг/л; t – длительность перемещения воды от места сброса до расчетного створа, сут.

ЗАДАНИЕ

Задание 1. Определить кратность разбавления сточных вод в расчетном створе по условиям, изложенным выше. Численные значения параметров для разных вариантов указаны в табл.

Планируется сбрасывать в водоток с расходом Q сточные воды промышленного предприятия с максимальным расходом $q_{\text{ст}}$. Ниже по течению от планируемого берегового выпуска сточных вод, на расстоянии 3,0 км находится поселок М. (цели водопользования определяются в соответствии с № варианта по табл.). Водоток характеризуется на этом участке следующими показателями:

- среднемесячный расход водотока 95%-й обеспеченности Q , м³/с;
- средняя глубина $H_{\text{ср}}$, м;
- средняя скорость течения $v_{\text{ср}}$, м/с;
- коэффициент Шези на этом участке $C_{\text{ш}}$, м^{1/2}/с;
- извилистость русла слабо выражена.

Определить кратность разбавления сточных вод в расчетном створе.

Показать ситуационную схему для расчета.

Задание 2. Определить концентрацию взвешенных веществ сточной воде, разрешенной к сбросу в водоток после очистных сооружений, и требуемую эффективность очистки сточной воды по взвешенным веществам.

Концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистные сооружения, $C_{\text{ст}}$.

Концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до места сброса $C_{\text{ф}}$.

Задание 3. Определить, можно ли произвести сброс нагретых сточных вод с $T_{\text{ст}}$ в водоток со среднемесячной температурой воды $T_{\text{в}}$.

Задание 4. Определить необходимую степень очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода, которые сбрасываются в водоток при следующих условиях:

- содержание растворенного кислорода в водотоке до места сброса сточных вод $O_{\text{в}}$, мг/л;
- полное биохимическое потребление кислорода ($\text{БПК}_{\text{полн}}$) в водотоке до места сброса $L_{\text{в}}$, мг/л

Задача 5. Определить необходимую степень очистки сточных вод по БПК_{полн} для водного объекта при заданных условиях.

Исходные данные для расчета

№ ва р	q , м ³ / с	Q , м ³ / с	$H_{\text{ср}}$, м	$v_{\text{ср}}$, м/ с	$C_{\text{ш}}$	Услови я выпуск а	$C_{\text{ст}}$, мг/ л	$C_{\text{ф}}$, мг/ л	Категории водопользовани я водного объекта	$T_{\text{ст}}$, °С	$T_{\text{в}}$, °С	$O_{\text{в}}$, мг/ л	$L_{\text{в}}$	БПК ^{ст} _{пол} н
1	0,5	12	1,2	1,0	32	Б	110	3	Х-П	60	22	5,5	1,8	250
2	0,7	15	1,3	1,0	32	Б	120	3	Х-П	60	22	5,5	2,0	270
3	0,8	20	1,3	1,1	35	Б	130	4	Х-П	65	21	6,0	2,2	280
4	0,9	25	1,4	1,1	35	Б	150	4	Х-П	65	21	6,0	2,0	300
5	1,0	30	1,5	1,2	38	Б	160	5	Х-П	68	20	6,5	1,8	320
6	1,2	33	1,6	1,2	38	Б	180	5	Х-П	68	20	6,5	2,0	340
7	1,5	35	1,6	1,3	40	Р	200	6	Р	71	19	7,0	2,2	350
8	1,6	37	1,7	1,3	40	Р	210	6	Р	71	19	7,0	2,0	330
9	1,7	40	1,8	1,4	45	Р	220	7	Р	73	20	6,5	1,8	310
10	1,8	43	1,8	1,4	45	Р	230	7	Р	73	20	6,5	2,0	290
11	1,9	45	1,9	1,5	50	Р	240	8	Р	75	21	6,0	2,2	260
12	2,0	47	2,0	1,5	50	Р	250	8	Р	75	21	6,0	1,8	250

Условия выпуска: Береговой – Б
Русловый – Р

Категории водопользования водного объекта: Хозяйственно-питьевое – Х-П
Рекреационное – Р

Таблица

Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования

*СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране
поверхностных вод»*

№	Показатели	Категории водопользования	
		Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	Для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест
1	2	3	4

1	Взвешенные вещества*	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на	
		0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
		Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм ³ природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
2	Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
3	Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике	
		20 см	10 см
4	Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	
		непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
5	Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3°С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
6	Водородный показатель (рН)	Не должен выходить за пределы 6,5—8,5	
7	Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм ³ , в т. ч.: хлоридов - 350; сульфатов - 500 мг/дм ³	
8	Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм ³ в любой период года, в пробе, отобранной до 12 часов дня.	
9	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	Не должно превышать при температуре 20 °С	
		2 мг О ₂ /дм ³	4 мг О ₂ /дм ³
10	Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость), ХПК	Не должно превышать:	
		15 мг О ₂ /дм ³	30 мгО ₂ /дм ³
11	Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
12	Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	

13	Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглав, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 25 л воды	
14	Термотолерантные колиформные бактерии**	Не более 100 КОЕ/100 мл **	Не более 100 КОЕ/100 мл
15	Общие колиформные бактерии **	Не более	
		1000 КОЕ/100 мл**	500 КОЕ/100 мл
16	Колифаги **	Не более	
		10 БОЕ/100 мл**	10 БОЕ/100 мл
17	Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии***	$\Sigma (A_i / Y_{Bi}) \leq 1$	

Примечания.

* Содержание в воде взвешенных веществ неприродного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, образующихся при обработке сточных вод, частички асбеста, стекловолокна, базальта, капрона, лавсана и т. д.) не допускается.

** Для централизованного водоснабжения; при нецентрализованном питьевом водоснабжении вода подлежит обеззараживанию.

*** В случае превышения указанных уровней радиоактивного загрязнения контролируемой воды проводится дополнительный контроль радионуклидного загрязнения в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности;

A_i - удельная активность i -го радионуклида в воде;

Y_{Bi} - соответствующий уровень вмешательства для i -го радионуклида (приложение П-2 НРБ-99).

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные методы снижения экологического риска и дайте их классификацию.
2. В чём разница между технологическими и инженерно-экологическими методами? Приведите примеры.
3. Что такое «наилучшие доступные технологии» (НДТ) с точки зрения снижения риска?
4. Как изменяется риск при увеличении высоты трубы при неизменном выбросе?
5. Почему для канцерогенов не существует «безопасного уровня» концентрации (в отличие от неканцерогенов)?
6. Какие факторы влияют на выбор метода очистки: экономические,

экологические, социальные?

7. Как учесть фоновое загрязнение при оценке эффективности мероприятий?

8. Что такое «предельно допустимый выброс» (ПДВ) и как он связан с экологическим риском?

Тема 8. Экологический ущерб от техногенных систем: структура, методы оценки и критерии приемлемости

Лабораторная работа № 9 «Расчет экологического ущерба»

Цель работы:

1. Изучите порядок расчета *экономического ущерба от загрязнения атмосферы*. Рассчитайте размер ущерба в предложенных задачах.
2. Изучите порядок расчета *экономического ущерба от загрязнения водоемов*. Рассчитайте размер ущерба до и после проведения природоохранных мероприятий и величину предотвращенного ущерба в предложенных задачах.
3. Изучите порядок расчета *размера ущерба от деградации почв и земель*. Рассчитайте размер ущерба в предложенных задачах.
4. Изучите порядок расчета *предотвращенного экономического ущерба биоресурсам*. Рассчитайте размер ущерба в предложенных задачах.

1. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Изучите порядок расчета *экономического ущерба от загрязнения атмосферы*. Рассчитайте размер ущерба в предложенных задачах.



ФОРМУЛЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ:

Экономический ущерб от загрязнения атмосферы определяется по формуле:

$$Y^{атм} = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M^{атм}, \quad [1]$$

где $Y^{атм}$ – величина экономического ущерба от загрязнения атмосферы, руб.;

γ – величина удельного ущерба от загрязнения ОС, руб./т;

σ – поправка, учитывающая характер территории, на которую осуществляется воздействие;

f – поправка, учитывающая характер рассеивания примеси в атмосфере;

M – приведенная масса загрязняющих веществ, у.т.

✓ γ – величина удельного ущерба от загрязнения ОС, руб./т.

Величина удельного ущерба от загрязнения атмосферы была принята равной 2,4 руб. за условную тонну (у.т.) на момент разработки методики (1986 г.). В современных расчетах принято, кроме того, использовать коэффициенты индексации, введенные для платежей за загрязнение ОС (*Приложение 1*).

Приложение 1

Коэффициенты индексации базовых нормативов платежей за загрязнение

Год	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Коэф. индексации	2	10	17	35	42	48	62	80	94

- ✓ σ – поправка, учитывающая характер территории, на которую осуществляется воздействие

Это коэффициент, позволяющий учесть региональные особенности территории, подверженной вредному воздействию. Иначе говоря, это показатель относительной степени опасности загрязнения воздуха над территорией данного типа (*Приложение 2*). Если зона неоднородна, значения показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха в данном регионе следует рассчитать как средневзвешенное коэффициентов для территорий разных типов.

Приложение 2

Показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов

Тип загрязняемой территории	Значение σ
Курорты, санатории, заповедники, заказники	10
Пригородные зоны отдыха, садовые и дачные участки	8
Населенные места с плотностью более 300 чел./га	8
Населенные места с плотностью населения (n) чел./га	$(0,1 \text{ га/чел}) \cdot n$
Территории промышленных предприятий (включая защитные зоны) и промышленных узлов	4
Леса: 1-я группа	0,2
2-я группа	0,1
3-я группа	0,25
Пашни:	0,25
Южные зоны (южнее 50° с.ш.)	
Центрально-Черноземный район, Южная Сибирь	0,15
Прочие районы	0,1

Сады, виноградники *	0,5
Пастбища, сенокосы *	0,05

* Для орошаемых пахотных земель, садов, виноградников, сенокосов указанные числа следует умножить на 2.

✓ f – поправка, учитывающая характер рассеивания примеси в атмосфере
Поправка, учитывающая характер рассеивания примеси в атмосфере, определяется в зависимости от высоты источника выбросов и разности температур ОС и источника. Как правило, значение этой поправки дается в условии задачи.

✓ M – приведенная масса загрязняющих веществ, у. т.

Приведенная масса годового выброса из источника рассчитывается следующим образом:

1. определяется масса годового выброса в атмосферу примеси i -го вида, т/год;
2. определяется показатель относительной агрессивности (опасности) примеси i -го вида (**Приложение 3**);
3. рассчитывается приведенная масса годового выброса в атмосферу загрязняющих веществ по формуле:

$$M^{atm} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i, \quad [2]$$

где A_i – показатель относительной агрессивности (опасности) примеси;

m_i – значение фактической массы i -го вида загрязняющего вещества.

Приложение 3

Показатель относительной агрессивности (опасности) сброса и выброса

Вещество	Показатель A_i , усл. т/т
Оксид углерода	1
БПК ₂	0,33
Взвешенные вещества	0,05
Летучие низкомолекулярные углеводороды (пары жидких топлив-бензинов) в пересчете на углерод	0,63
Сульфаты	0,002
Хлориды	0,003
Нитриты	0,1
Ацетон	0,93
СПАВ	2,0
Нефть и нефтепродукты	20,0
Диоксид серы	11,0
Диоксид азота	11,9

Медь	100,0
Цинк	100,0
Сероводород	27,4
Хлор молекулярный	44,7
Аммиак	20,0
Мышьяк	20,0
Цианиды	20,0
Стирол	10,0
Формальдегиды	10,0
Пыль углерода, сажа	17,3
Неорганические соединения свинца в пересчете на свинец	4472,0

Задачи к п. 1

1.1. По приведенным ниже данным оцените годовой размер ущерба от загрязнения атмосферы для предприятий. Поправка $f = 1$. Предприятие расположено в населенном пункте с плотностью более 300 чел./га.

Годовой объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (условные данные)

№ предприятия	Фактическая масса i -го вида загрязняющего вещества m_i , т					
	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Летучие углеводороды	Соединения свинца	Твердые частицы (сажа)
25	0,10	90,10	32,60	3,40	3,90	5,70

ХОД Решения:

1. Рассчитать величину $M^{атм}$ (приведенная масса годового выброса загрязняющих веществ в атмосферу из анализируемого источника (источников)) по формуле [2].

Для этого необходимо:

1) Для каждого загрязняющего вещества выписать коэффициент относительной агрессивности из Приложения 3.

	Диоксид серы	Оксид углерода	Диоксид азота	Летучие углеводороды	Соединения свинца	Твердые частицы (сажа)
m_i , т	0,10	90,10	32,60	3,40	3,90	5,70
A_i , усл. т/т						

2) Затем фактическую массу каждого загрязняющего вещества умножить на коэффициент его относительной опасности. Полученные значения суммировать.

2. Рассчитать величину экономического ущерба от загрязнения атмосферы $Y^{атм}$ по формуле [1].

Для этого:

- 1) Величину удельного ущерба от загрязнения ОС (γ) во всех задачах считать равной 2,4 руб. за условную тонну (см. Методику расчета). Коэффициент индексации считать по 2001 году, если не указано иное. Коэффициент индексации указан в Приложении 1.
- 2) Выписать из Приложения 2 значение показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов (σ). Тип территории указан в условии задачи – населенный пункт с плотностью более 300 чел./га.
- 3) Значение поправки f , учитывающей характер рассеивания примеси в атмосфере, указано в условии задачи.
- 4) Величина $M^{атм}$ (приведенная масса годового выброса загрязняющих веществ в воду из анализируемого источника (источников)) - см. пункт 1.
- 5) Согласно формуле [1], все найденные и указанные значения перемножить.

1.2. По приведенным ниже данным (табл.1) оцените годовой размер ущерба от загрязнения атмосферы для предприятий и организаций (номер предприятия соответствует номеру варианта). Поправка $f = 1$.

Таблица 1

Годовой объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, т
(условные данные)

№	Тип территории	Фактическая масса i -го вида загрязняющего вещества m_i , т					
		Диоксид серы	Оксид углерода	Оксид азота	Летучие углеводороды	Соединения свинца	Твердые частицы (сажа)
1	Промышленный узел	62,70	58 066,8	9 541,1	322 253,3	453,1	3 252,9
2	Пригородные зоны отдыха	370,3	9 819,9	3 091,9	9 632,1	29,8	388,1
3	Орошаемые пахотные земли	23,3	3 847,1	1 360,3	3 834,9	2,11	24,5
4	Населенный пункт	98,7	10 162,7	13 580,4	20 568,2	24,2	75,0

	(плотность более 300 чел./га)						
5	Промышленное предприятие	22,50	207 076,4	82 540,1	133 330,0	6,2	418,9
6	Санаторно-курортная зона	22 628,1	31 442,8	3381,2	7 488,5	115,2	231,5
7	Пашня (Южная Сибирь)	15 873,5	31 252,5	1542,5	2 233,7	2 962,8	524,6

№	Тип территории	Фактическая масса <i>i</i> -го вида загрязняющего вещества <i>m_i</i> , т					
		Диоксид серы	Оксид углерода	Оксид азота	Летучие углеводороды	Соединения свинца	Твердые частицы (сажа)
8	Промышленный узел	65,90	43 063,5	11403,7	444 670,7	342,6	612,4
9	Леса 2-ой группы	43,3	2 040,5	883,9	24 766,3	1,9	4,4
10	Заповедник	0,05	3 249,8	1129,8	8 691,3	—	6,8
11	Садовые и дачные участки	12,3	14 003,7	6522,9	14 690,5	4,9	18,80
12	Населенный пункт (плотность менее 300 чел./га)	0,04	58,2	30,10	21 365,8	0,3	7,3
13	Промышленное предприятие	40,30	51 969,5	22134,1	318 082,0	8,1	25,3
14	Промышленный узел	39,4	2 719,9	4971,3	126 837,8	6,6	341,8
15	Сенокосы	0,5	4 268,8	17691,5	37 895,8	28,1	44,7

Продолжение таблицы 1

2. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ

➤ Изучите порядок расчета экономического ущерба от загрязнения водоемов. Рассчитайте размер ущерба до и после проведения природоохранных мероприятий и величину предотвращенного ущерба в предложенных задачах.



ФОРМУЛЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ:

Экономический ущерб от загрязнения водных объектов определяется по следующей формуле:

$$Y^{вод} = \gamma \cdot \sigma_{вод} \cdot M^{вод} \quad [3]$$

где $Y^{вод}$ – величина экономического ущерба от загрязнения водных объектов, руб.;

γ – величина удельного ущерба от загрязнения ОС, руб./т;

$\sigma_{вод}$ – поправка, учитывающая категорию водных объектов;

$M^{вод}$ – приведенная масса сброса загрязняющих веществ, у.т.

✓ γ – величина удельного ущерба от загрязнения водных объектов, руб./т

Величина удельного ущерба от загрязнения атмосферы была принята равной 443 руб. за условную тонну (у.т.) на момент разработки методики. Для расчета ущерба от загрязнения водных объектов можно использовать, как и в случае загрязнения атмосферы, коэффициенты индексации платежей за загрязнение ОС (*Приложение 1*).

✓ $\sigma_{вод}$ – поправка, учитывающая категорию водных объектов

Следующий этап – определение коэффициента экологической значимости для различных водных объектов. Значение коэффициента приводятся в *Приложении 4*.

Приложение 4

Значение коэффициента экологической значимости $\sigma_{вод}$ (σ_k) для различных водохозяйственных объектов (поправка на водохозяйственный участок)

Водный бассейн	Значение σ_k
Печора	0,16
Северная Двина	0,22
Нева	0,47
Дон	1,63
Волга	2,6
Селенга	0,21
Тобол	0,97
Лена	0,15
Кама	0,5
Кубань	2,63
Урал	2,7
Обь	0,34
Иртыш	2,1
Енисей	0,19
Амур	0,19

✓ $M^{вод}$ – приведенная масса сброса загрязняющих веществ, у. т.

Приведенная масса годового сброса определяется по формуле:

$$M^{год} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i \quad [4]$$

где A_i – показатель токсичности компонента сточных вод (показатель относительной агрессивности (опасности) примеси), определяемый как величина обратная значению предельно допустимой концентрации (ПДК) вещества, т. е. чем меньше значение ПДК для конкретного загрязнителя, тем больше вес этого загрязнителя в общем объеме выбросов;

m_i – фактическая масса i -го вещества в сточных водах.

Значение показателя токсичности компонента сточных вод (показатель относительной агрессивности (опасности) примеси A_i) приведены в *Приложении 3*.

Таким образом, приведенная масса годового сброса примесей данным источником загрязнения (предприятием, организацией и т.п.) в k -ый водохозяйственный участок (у. т / год) рассчитывается следующим образом:

- 1) определение показателя относительной опасности сброса i -го загрязняющего вещества в водоем (Приложение 3);
- 2) определение общей массы годового сброса i -ой примеси оцениваемым источником, т / год; если источник сбрасывает сточные воды с несколькими типами загрязнителей, то определяется общая масса m_i годового сброса i -ой примеси в водоем (сумма отдельных значений массы сбрасываемых загрязнителей).

ЗАДАЧИ К П. 2

2.1. Промышленным предприятием, расположенным на берегу реки Иртыш, ежегодно сбрасывается в водный бассейн города следующее количество загрязняющих веществ:

Типы загрязняющих веществ	Кол-во, т
Взвешенные вещества	4,5
СПАВ	1,7
Нефть и нефтепродукты	900
Хлориды	525

В результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 25%. Определить годовой ущерб от загрязнения

водного бассейна до и после проведения водоохранных мероприятий и величину предотвращенного ущерба.

ХОД Решения:

1. Из Приложения 3 для каждого загрязняющего вещества выписать значение показателя токсичности компонента сточных вод (показатель относительной агрессивности (опасности) примеси) A_i

Сброс веществ до проведения природоохранных мероприятий

Типы загрязняющих веществ	Кол-во, т	A_i , усл. т/т
Взвешенные вещества	4,5	
СПАВ	1,7	
Нефть и нефтепродукты	900	
Хлориды	525	

2. Вычислить количество загрязняющих веществ после проведения водоохранных мероприятий, исходя из предложенных в условии задачи данных о сокращении объемов сбрасываемых в водоем примесей на 25% (расчет пропорции, где за 100% принять количество загрязняющих веществ до проведения водоохранных мероприятий). Данные занесите в таблицу.

Сброс веществ после проведения природоохранных мероприятий

Типы загрязняющих веществ	Кол-во, т	A_i , усл. т/т
Взвешенные вещества		
СПАВ		
Нефть и нефтепродукты		
Хлориды		

Значение показателя относительной агрессивности (опасности) примеси) A_i - то же самое, что и в таблице п.1.

3. По формуле [4] рассчитать величину приведенной массы годового выброса загрязняющих веществ в воду из анализируемого источника $M^{год}$ до и после проведения водоохранных мероприятий. Для этого фактическую массу каждого загрязняющего вещества умножить на коэффициент его относительной опасности. Полученные значения суммировать.

- (до) $M^{год} =$ _____
- (после) $M^{год} =$ _____

4. По формуле [3] рассчитать величину годового ущерба до и после водоохранных мероприятий.

Для этого:

- 1) Величину удельного ущерба от загрязнения водных объектов γ принять равной 443 руб. за условную тонну. Коэффициент

индексации считать по 2001 году, если не указано иное. Коэффициент индексации указан в Приложении 1.

- 2) Выписать из Приложения 4 значение коэффициента экологической значимости для различных водных объектов (поправка, учитывающая категорию водных объектов) $\delta_{вод}$. Водохозяйственный участок, указанный в условии задачи, принадлежит бассейну р. Иртыш.

- (до) $Y^{вод} =$ _____
- (после) $Y^{вод} =$ _____

5. Рассчитать величину предотвращенного ущерба, имея в виду, что предотвращенный ущерб является разницей между ущербом до и после проведения природоохранного мероприятия:

- $ПУ =$ _____

6. Сделать вывод об эффективности водоохранных мероприятий, сравнив значения годового экономического ущерба до и после водоохранных мероприятий ущерба, а также величину предотвращенного ущерба.

2.2. Для предприятий 1 – 15 по приведенным ниже данным (табл. 2) определить годовой ущерб от загрязнения водного бассейна до и после проведения водоохранных мероприятий и величину предотвращенного ущерба. Информация о сокращении объемов сброса до или после проведения водоохранных мероприятий – в Примечании к таблице 2.

Таблица 2

Годовые массы сбросов веществ в водные объекты (условные данные)

Бассейны рек	Массы веществ в стоках, т				Массы веществ в стоках, кг					
	Нефте-продукты	Взве-ш. в-ва	Сульф-а-ты	Хлори-ды	Азот нитрит	Азот нитрат	Азот аммонийный	СПА В	Железо	Фосфор
1. Иртыш *	6,89	116,0	255,0	1,3	1317,0	15968,0	23386	1518		7603
2. Енисей *	0,05	23,95		139	78,25	28068,0	5337,0	127,0		2803,0
3. Обь *	3,39	274,0	61,7	1279,0	1219,0	19000,0	19189		3120,0	10634,7
4. Тобол *	0,46	23,5	153,0	213,0	375,0	10297,0	11646	65,5	258,0	
5. Кубань *	0,03	23,2	330,0		20,0	6000,0	400,0		241	
6. Нева *	0,5	1,10		7,45	1,19	176,0	80,1		6250,0	1969,0
7. Селенга *		8,36	8,67	22,5	0,35	8,09	31,3	2,01		35,2
8. Кама *	1,15	23,2	122,4	59,8	630,4	25226,	3803,	95,7		1218,3

						0	0			
9. Урал *	0,05	3,42	5,6		7,56	112,14	1890,9	8,23	21,16	3,53
10. Дон *	0,20	11,3	25,1	49,9	48,7	7809,4	2523,0	224,2	274,4	
11. Печора *	0,01	1,18	12,2	5,9	5,7	1824,0	33,3			3,3
12. Волга *	0,21	16,8	52,9	89,5	44,8	1262,3	7337,8	270,4		
13. Лена *	5,78	15,2	269,2		843,9	17539,0	20,1	1789		1036
14. Амур *	2,17	333,9		983,0	62,17	264,3	2510,8	84,2	82,5	
15. Северная Двина *	0,6	36,5	3,4	54,8	9,8	658,0	520,7	1332		2,1

* Примечание:

1. *Иртыш* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 40% больше.
2. *Енисей* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 55%.
3. *Обь* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 15%.
4. *Тобол* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 20% больше.
5. *Кубань* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 64% больше.
6. *Нева* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 20%.
7. *Селенга* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 15% больше
8. *Кама* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 40%.
9. *Урал* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 40% больше
10. *Дон* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 17% больше
11. *Печора* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 50%.
12. *Волга* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 38%.

13. *Лена* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 24% больше.
14. *Амур* - в результате водоохранных мероприятий объем сбрасываемых в водоем примесей сократился на 22%.
15. *Северная Двина* - в предыдущие годы объем сбрасываемых в водоем примесей был на 60% больше.

3. УКРУПНЕННАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ

➤ Изучите порядок расчета размера *ущерба от деградации почв и земель*. Рассчитайте размер ущерба в предложенных задачах.

Полностью порядок расчета размера ущерба от деградации почв и земель представлен в Письме Комитета по земельной реформе и земельным ресурсам РФ и Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ от 29.07.94 №3-14-2/1139 «О методике определения размеров ущерба от деградации почв и земель».

Деградация почв и земель представляет собой совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественному и качественному ухудшению их состава и свойств, снижению природно-хозяйственной значимости земель.

Под **степенью деградации (деградированности) почв и земель** понимается характеристика их состояния, отражающая ухудшение состава и свойств. Крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова и порча земель.

Выделяются следующие основные типы деградации почв и земель:

- технологическая (эксплуатационная) деградация, в т.ч.:
 - нарушение земель
 - физическая деградация
 - агроистощение
- эрозия, в т.ч.:
 - водная
 - ветровая
- засоление, в т.ч.:
 - собственно засоление
 - осолонцевание
- заболачивание



ФОРМУЛЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ:

Размер ущерба рассчитывается для каждого контура деградированных почв и земель по формуле:

$$Ущ = Hc \cdot S \cdot Kэ \cdot Kc \cdot Kn + Dx \cdot S \cdot Kв, \quad [5]$$

где *Ущ* - размер ущерба от деградации почв и земель, тыс. руб.;

Нс - норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд, тыс. руб./га;

Дх - годовой доход с единицы площади, тыс. руб.;

S - площадь деградированных почв и земель, га;

Кэ - коэффициент экологической ситуации территории;

Кв - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель;

Кс - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель;

Кп - коэффициент для особо охраняемых территорий.

✓ *Нс* - норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд, тыс. руб./га.

В основу расчета ущерба от деградации почв и земель положены нормативы стоимости, определяющие возмещение убытков за изъятие участков земель. Указанные нормативы, индексируются Роскомземом с использованием данных государственной статистики об индексации цен и изменяются с момента утверждения Правительством Российской Федерации новых нормативов стоимости земель.

Нормативы стоимости *Нс* определяется согласно *Приложению 5* с учетом освоения сельскохозяйственных земель либо под пашню, многолетние насаждения, сенокосы и пастбища коренного улучшения, либо под сенокосы и пастбища. Коэффициенты индексации нормативов стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд представлены в *Приложении 6*.

Приложение 5

Нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд

Типы и подтипы почв на изымаемых участках	Нормативы стоимости освоения, тыс. руб./га	
	под пашню, многолетние насаждения, сенокосы и пастбища коренного улучшения	под сенокосы и пастбища
I зона		
Архангельская и Мурманская области	1277	800
II зона		
Брянская, Владимирская, Вологодская, Ивановская, Калужская, Тверская, Кировская, Костромская, Новгородская, Пермская, Псковская, Смоленская, Ярославская области	809	477
III зона		
Нижегородская, Орловская, Рязанская и Тульская области	1556	946
IV зона		
Белгородская, Воронежская, Самарская, Курская, Липецкая, Пензенская, Тамбовская и Ульяновская области	1789	1092
V зона		
Астраханская, Волгоградская и Саратовская области	1198	770
VI зона		
Краснодарский край	4480	2419
VII зона		
Ставропольский край, Ростовская область	2132	1155
VIII зона		
Курганская, Оренбургская, Свердловская и	1579	893

Челябинская области		
IX зона		
Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская и Тюменская области	1238	574
X зона		
Красноярский край, Иркутская и Читинская области	705	421
XI зона		
Приморский и Хабаровский края, Амурская, Камчатская, Магаданская и Сахалинская области	1448	825
XII зона		
Калининградская, Ленинградская области и город Санкт-Петербург	2081	1460
XIII зона		
Московская область и город Москва	2100	1130

Приложение 6

Об индексации нормативов стоимости освоения новых земель взамен сельскохозяйственных угодий, изымаемых для несельскохозяйственных нужд

Зона	Индексы	Зона	Индексы
I зона	41,9	VIII зона	52,4
II зона	41,8	IX зона	40,1
III зона	39,5	X зона	45,5
IV зона	49,2	XI зона	57,7
V зона	35,9	XII зона	52,2
VI зона	37,6	XIII зона	36,5
VII зона	35,1		

✓ **Кэ** - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории, безразмерный.

Коэффициенты экологической ситуации (**Кэ**) вводятся для учета суммарного воздействия, оказываемого деградацией почв и земель на экологическую обстановку. Приведены в *Приложении 7*.

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости территории

Экономические районы Российской Федерации	Значение K_z	
	для атмосферного воздуха *	для почвы **
Северный	1,4	1,4
Северо-Западный	1,5	1,3
Центральный	1,9	1,6
Волго-Вятский	1,1	1,5
Центрально-Черноземный	1,5	2
Поволжский	1,9	1,9
Северо-Кавказский	1,6	1,9
Уральский	2	1,7
Западно-Сибирский	1,2	1,2
Восточно-Сибирский	1,4	1,1
Дальневосточный	1	1,1
Калининградская область	1,5	1,3

* Применяется с дополнительным коэффициентом 1,2 при выбросе загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов.

** Применяется при определении платы за размещение отходов производства и потребления

✓ K_c - коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель, безразмерный.

При проведении обследований по выявлению деградированных почв и земель определяются площади, а также изменение **степени их деградации (Приложение 8)**.

Деградация почв и земель характеризуется пятью степенями:

- 0 - недеградированные (ненарушенные);
- 1 - слабodeградированные;
- 2 - среднедеградированные;
- 3 - сильнодеградированные;
- 4 - очень сильнодеградированные (разрушенные).

Для определения размера ущерба в зависимости от изменения степени деградации почв и земель вводятся пересчетные коэффициенты ***K_c***, приведенные в ***Приложении 9***.

Приложение 8

Определение степени деградации почв и земель

Показатели	Степень деградации				
	0	1	2	3	4
<i>Индикаторные показатели</i>					
Площадь подвижных песков, % от общей площади	0-2	3-5	6-15	16-25	> 25
Увеличение токсичной щелочности (при переходе нейтрального типа засоления в щелочной), мг-экв. /100 г. почв	< 0,7	0,7-1,0	1,1-1,6	1,7-2,0	> 2,0
Продолжительность затопления (поверхностное переувлажнение), месяц	< 3	3-6	6-12	12-18	> 18
Расчлененность территории оврагами, км/км ²	< 0,1	0,1-0,3	0,4–0,7	0,8-2,5	> 2,5
<i>Дополнительные показатели</i>					
Потери почвенной массы, т/га/год	< 5	5-254	26-100	101-200	> 200
Проективное покрытие пастбищной растительности, % от зонального	> 90	71-90	51-70	11-50	< 10
Площадь естественных кормовых угодий, выведенных из землепользования (лишенных растительности), % от общей площади	< 10	10-30	31-50	51-70	>70
Увеличение площади засоленных почв, % в год	0-0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	>5,0

Приложение 9

Коэффициенты пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель (*K_c*)

Степень деградации по	Степень деградации почв по данным контрольных обследований
-----------------------	--

данным предыдущих обследований	0	1	2	3	4
0	0	0,2	0,5	0,8	1,0
1		0	0,3	0,6	0,8
2			0	0,3	0,5
3				0	0,2
4					0

✓ **Кп** - коэффициент для особо охраняемых территорий, безразмерный.

При деградации почв и земель в пределах особо охраняемых территорий органами исполнительной власти краев, областей, автономных образований, городов Москвы и Санкт-Петербурга могут вводиться повышающие коэффициенты **Кп** к нормативам стоимости. Приведены в *Приложении 10*.

Приложение 10

**Значения коэффициентов особо охраняемых территорий (Кп)
(повышающий коэффициент к нормативам стоимости) для расчета
ущерба от нарушения земель**

Тип территории	Значение Кп
Земли природно-заповедного фонда	3
Земли природоохранного, оздоровительного и историко-культурного назначения	2
Земли рекреационного назначения	1,5
Прочие земли	1,0

✓ **Дх** - годовой доход с единицы площади (тыс. руб.).

При расчете размеров ущерба от деградации почв и земель, нанесенного их собственнику, учитывается потеря ежегодного дохода (**Дх**), который исчисляется по фактическим объемам производства в натуральном выражении в среднем за 5 лет и ценам, действующим на момент определения размеров ущерба. Размер ежегодного дохода рассчитывается с привлечением данных налоговых инспекций и в необходимых случаях корректируется в расчете на предстоящий период в соответствии со сложившимися темпами инфляции.

✓ **Кв** - коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель, безразмерный.

В зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель, которое устанавливается

землеустроительным проектом, вводится коэффициент пересчета K_v , определяемый в соответствии с *Приложением 11*.

Приложение 11

Значения коэффициента пересчета (K_v) дохода с сельскохозяйственных земель в зависимости от периода времени их восстановления

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета K_v	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета K_v
1 год	0,9	8 - 10 лет	5,6
2 года	1,7	11 - 15 лет	7,0
3 года	2,5	16 - 20 лет	8,2
4 года	3,2	21 - 25 лет	8,9
5 лет	3,8	26 - 30 лет	9,3
6 - 7 лет	4,6	31 и более лет	10,0

Задачи к п. 3

3.1. В Астраханской области в связи с перевыпасом скота на пастбищах увеличение площади подвижных песков в прошлом году составило 3% в год, а в текущем 6% в год. Годовой доход с одного гектара взять равным 600 тыс. руб. Продолжительность периода восстановления почв 10 лет. Площадь деградированных земель 300 га. Определить сумму ущерба от деградации почв.

ХОД РЕШЕНИЯ:

Оформление результатов расчета размера причиненного ущерба в результате деградации почв и земель

Площадь, га	Годовой доход с единицы площади, тыс. руб.	Норматив стоимости освоения новых земель, тыс. руб./	Степень деградации		Коэффициенты				Размер ущерба от деградации почв и земель, тыс. руб.
			по данным предыдущих обследований	по данным контрольных обследований	по степени деградации почв и земель	по экологической ситуации территории	для особо охраняемых территорий	по времени восстановления деградированных почв и земель	

		га							
<i>S</i>	<i>Дх</i>	<i>Нс</i>			<i>Кс</i>	<i>Кэ</i>	<i>Кп</i>	<i>Кв</i>	<i>Ущ</i>

1. Определить нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд (*Нс*) (см. Приложение 5). Использовать коэффициент индексации (см. Приложение 6).
2. Используя показатели изменения площади подвижных песков (%) за два года, определить **степени деградации почв и земель** (см. Приложение 8).
3. Используя найденные коэффициенты степени деградации, определить **показатель *Кс*** (см. Приложение 9). Для этого в Приложении 7 за «*степень деградации по данным предыдущих обследований*» принять степень деградации, определенной по данным прошлого года в условии задачи; за «*степень деградации по данным контрольных обследований*» принять степень деградации, определенной по данным текущего года в условии задачи.
4. Определить коэффициенты по экологической ситуации и экологической значимости почвы территории экономических районов (*Кэ*), по времени восстановления почв и земель (*Кв*) согласно Приложениям 7 и 11 соответственно.
5. Определить коэффициент для особо охраняемых территорий (*Кп*) согласно Приложению 10. Если в условии задачи не указан тип особо охраняемой территории, значение *Кп* принимать для прочих земель.
6. Определить **сумму ущерба (*Ущ*)** от деградации почв согласно формуле [5].

3.2. По приведенным ниже данным (табл.3) определить сумму ущерба от деградации почв при различных процессах деградации в регионах Российской Федерации согласно своему варианту.

Таблица 3

В	Характер территории	Площадь деградированных	Показатель деградации			Годовой доход с 1 га, тыс. руб.	Восстановление почв, лет
			Процесс	Значение			
				1995 г.	2005 г.		

		земель , га					
1	Зона отдыха, Приморски й край	1 200	Продолжител ьность затопления, (поверхностн ое переувлажнен ие)	1 месяц	4 месяца	700	15
2	С/х угодья, Ростовская обл.	2 500	Расчлененнос ть территории оврагами	0,5 км/км ²	увеличе ние в 3 раза *	12000	7
3	С/х угодья, Ставропол ьский край	10 000	Площадь подвижных песков	12% от общей площад и	увеличе ние в 1,5 раза *	15000	5
4	Полигон ТКО**, Забайкальс кий край	300	Увеличение токсичной щелочности	0,7 мг- экв. /100 г. почв	0,9 мг- экв. /100 г. почв	450	17
5	Пашни, Орловская обл.	5 400	Потери почвенной массы	4 т/га/год	увеличе ние в 10 раз *	900	10
6	Алтайский край	800	Проективное покрытие пастбищной растительност и	75% от зональн ого	10% от зональн ого	750	12
7	Пашни, Воронежск ая обл.	3 200	Потери почвенной массы	7 т/га/г од	увеличе ние в 3 раза *	1000	9
8	С/х угодья, Ленинград ская обл.	1 500	Площадь естественных кормовых угодий, выведенных из землепользов ания	25% от общей площад и	увеличе ние в 1,5 раза *	900	11

9	Заказник, Хабаровск ий край	410	Продолжител ьность затопления, (поверхностн ое переувлажнен ие)	0,5 месяца	3 месяца	620	12
1 0	Водоохран ная зона, Саратовска я обл.	8 000	Площадь подвижных песков	10% от общей площад и	увеличе ние в 3 раза *	1100	10
1 1	Лесопарк, Ярославска я обл.	670	Расчлененнос ть территории оврагами	0,2 км/ км ²	увеличе ние в 8 раз *	860	12
1 2	С/х угодья, Оренбургс кая обл.	7 520	Увеличение площади засоленных почв	1 % в год	увеличе ние в 5 раз *	520	15
1 3	С/х угодья, Тульская обл.	950	Проективное покрытие пастбищной растительност и	95% от зональн ого	50% от зональн ого	950	10
1 4	Жилой район, Свердловс кая обл.	1 920	Увеличение токсичной щелочности	1,2 мг- экв. /100 г. почв	увеличе ние в 2 раза *	700	17
1 5	С/х угодья, Ставропол ьский край	3 600	Увеличение площади засоленных почв	2% в год	увеличе ние в 2,5 раза *	15000	5

* – по сравнению с данными предыдущих исследований (1995 г.)

** - ТКО – твердые коммунальные отходы

Словарь терминов (Глоссарий).

АККУМУЛЯЦИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМАМИ - накопление в живых организмах химических веществ, содержащихся в среде обитания. Степень аккумуляции на более высоких уровнях цепей питания закономерно увеличивается.

БИОГЕОЦЕНОЗ (определение автора термина В. Н. Сукачева) - эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, биотически однородная природная система функционально взаимосвязанных живых организмов и окружающей их абиотической среды. Синоним, но не во всех случаях, термина «экосистема».

БИОМАССА - количество живого вещества (суммарное или относящееся к отдельным видам, популяциям, жизненным формам организмов и т.п.) на единице площади или объема экосистемы.

БИОСФЕРА – область обитания живых организмов на Земле.

БИОЦЕНОЗ - часть (блок) экосистемы (биогеоценоза), представленная совокупностью взаимосвязанных организмов; применительно к крупным экосистемам и биосфере в целом вместо термина «биоценоз» обычно используют термин «биота».

ВЕЩЕСТВО БИОГЕННОЕ - химические соединения, возникшие в результате жизнедеятельности организмов.

ВЕЩЕСТВО ЖИВОЕ - совокупность тел живых организмов (вне зависимости от систематической принадлежности), выраженная в единицах объема, массы или энергии. Общий вес живого вещества биосферы оценивается в 2,4-3,6 трлн.т (сухой вес).

ВЕЩЕСТВО КОСНОЕ - вещество, «образуемое процессами, в которых живое вещество не участвует» (В. И. Вернадский).

ВЛОЖЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ЭКОСИСТЕМЫ дополнительное привнесение энергии (тепловой, электрической) в виде обработки почвы, использования удобрений, уничтожения отходов и т.н.) для поддержания устойчивости экосистем, нарушенных человеком, повышения продуктивности агроценозов, функционирования городских систем и т.п. Агроценозы, техногенные и другие созданные человеком системы могут существовать только при условии постоянного вложения в них энергии.

ГОМЕОСТАЗ (ИС) - совокупность механизмов, направленных на устранение или максимальное ограничение действия факторов, нарушающих внутреннее динамическое равновесие системы. Применим к различным системам - от космических до организма и атома.

ДИГРЕССИЯ - ухудшение состояния экосистем под влиянием воздействия различных факторов, чаще всего человека.

«ДЫРА» ОЗОНОВАЯ - значительное пространство в озоновом слое с заметно пониженным (до 50 %) содержанием озона. Наиболее значительна над Антарктикой.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ - привнесение в среду не характерных для нее химических, физических или биологических агентов или превышение естественного уровня свойств для среды агентов.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕПЛОВОЕ - повышение температуры среды под влиянием различных факторов (чаще всего антропогенных); обычно характерно для воздуха и вод, где может вызывать серьезные изменения в функционировании экосистем.

КСЕНОБИОТИК - любое чуждое для организмов или их сообществ вещество.

МОНИТОРИНГ - слежение за какими-либо объектами, явлениями, средами жизни или биосферой в целом.

НИША ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ место вида в природе, включающее не только его положение в пространстве, но и весь жизненный статус (вид пищи и способ питания, отношение к факторам среды, места размножения и урытий и т.н.); чем большим сходством характеризуются экологические пиши организмов (видов), тем острее между ними конкурентные отношения.

НООСФЕРА - «мыслящая оболочка» (В. И. Вернадский), сфера разума - естественная стадия развития биосферы, когда разумная деятельность человека становится важным фактором биосферных процессов. Содержание термина и связанное с ним научное направление недостаточно разработаны.

ОЗОНОВЫЙ ЭКРАН - слой атмосферы в пределах стратосферы, лежащий на высотах 20[^]45 км (у полюсов ниже) и отличающийся повышенной концентрацией озона (примерно в 10 раз выше, чем у поверхности Земли), поглощающей губительные для организмов ультрафиолетовые лучи (см. также «Дыра» озоновая).

ОПУСТЫНИВАНИЕ - уменьшение или уничтожение биологического потенциала земли (чаще всего под влиянием антропогенных факторов),

которое может привести к возникновению условий, аналогичных условиям пустыни (определение Конференции ООН

по опустыниванию, 1977 г.).

ПЕСТИЦИД - химическое соединение, используемое для борьбы с нежелательными для человека организмами с целью защиты естественных экосистем, посевов, изделий и т.п.

САМООЧИЩЕНИЕ ЭКОСИСТЕМ - способность разлагать природные и антропогенные вещества и устранять их вредное действие. Основным фактором самоочищения выступают живые организмы. Экосистемы, бедные жизнью, характеризуются низкой самоочищающей способностью.

СМОГ ВЛАЖНЫЙ (лондонского типа) - смесь газообразных загрязняющих веществ (в основном сернистого газа), пылевых частиц и капель тумана.

СМОГ СУХОЙ ФОТОХИМИЧЕСКИЙ (лос-анджелесского типа) - вторичное загрязнение воздуха в результате фотохимических реакций с образованием новых веществ - фотооксидантов, преимущественно озона и пероксиацетилнитратов. Условием образования является наличие загрязняющих веществ (окислы азота, сернистый ангидрид, угарный газ) и значительного количества солнечных лучей, особенно ультрафиолетовых.

СУКЦЕССИЯ - последовательная смена экосистем (биоценозов) в результате саморазвития на безжизненном субстрате или на месте разрушения существовавших экосистем (в этом случае сукцессии называют вторичными). Конечным результатом является относительно стабильные климаксовые или узловые экосистемы.

ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ – влияние технических систем на окружающую среду.

ПРИРОДНАЯ ОПАСНОСТЬ – возможность наступления стихийного бедствия.

ТЕХНОГЕННАЯ ОПАСНОСТЬ – возможность наступления техногенной катастрофы.

ТЕХНОГЕННАЯ СИСТЕМА – созданная человеком совокупность технических средств, предназначенная для того или иного вида хозяйственной деятельности.

УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ – регулирование вероятности наступления неблагоприятного события.

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ - способность оставаться относительно неизменной в течение определенного периода времени вопреки внешним воздействиям.

ФРЕОНЫ (ХЛ АДОНЫ) - группа галогеносодержащих веществ, кипящих при комнатной температуре, используемых в холодильной промышленности и как распылители в аэрозольных упаковках. Широко использовались вследствие инертности, позже выяснилось, что, поднимаясь в стратосферу, подвергаются фотохимическому разложению с выделением хлора, способствующего разрушению молекул озона (как катализатор).

ЦВЕТЕНИЕ ВОДЫ - массовое развитие мелких водорослей (фитопланктона), вызывающее изменение окраски воды. Причиной цветения является поступление в водоемы минеральных и органических веществ (см. Эвтрофикация).

ЦЕПЬ ПИТАНИЯ (цепь трофическая) - ряд видов или групп организмов в экосистеме, каждое предыдущее звено в котором служит пищей для следующего. Цепь питания состоит из нескольких (от 2-х до 5-6-ти) пищевых (трофических) уровней, под которыми понимают группы организмов со сходным типом питания (растения, травоядные животные, хищники, мертвоеды).

ЭВТРОФИКАЦИЯ ВОД - повышение биологической продуктивности водных экосистем в результате обогащения их питательными веществами.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА — оценка потенциальной экологической опасности того или иного вида хозяйственной деятельности.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК — вероятность наступления экологически неблагоприятного события.

Список литературы:

Основная литература:

1.Ефремов И.В. Техногенные системы и экологический риск [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Ефремов, Н.Н. Рахимова. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 171 с. — 978-5-7410-1503-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61417.html>

Дополнительная литература:

1.Техногенные системы и экологический риск : Методические указания по выполнению практических (семинарских) работ по дисциплине : Направление подготовки 05.03.06 – Экология и природопользование. Профиль «Природопользование». Квалификация выпускника - бакалавр / сост. И. В. Бегдай ; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь : СКФУ, 2017. - 83 с.,

2.Методические указания по выполнению лабораторных работ "Техногенные системы и экологический риск". Направление подготовки - 05.03.06 Экология и природопользование. Профиль подготовки - Природопользование. Квалификация (степень) выпускника - Академический бакалавр. Форма обучения - очная. Учебный план 2014г. Изучается в 7 семестре / сост. И. В. Бегдай ; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь : СКФУ, 2014. - 58 с.,

3.Ефремов И.В. Техногенные системы и экологический риск [Электронный ресурс]: практикум/ Ефремов И.В., Рахимова Н.Н.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015.— 174 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/54166.html>.