

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»  
Федеральный опорный вуз

*Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»*

**Учебно-методическое пособие**

к выполнению практических работ  
по дисциплине «**Токсикология**»

Направление подготовки:  
**20.03.01, 20.04.01 «Техносферная безопасность»**

**Квалификация** бакалавр и магистр

**Форма обучения** очно-заочная

Нижний Новгород 2021

Составители: **В.М. Смирнова, М.Н. Ребрушкин, Г.Н. Борисова, А.В. Борисов**

**УДК 615.9**

**ББК 20.1+54.194**

Учебно-метод. пособие к выполнению практических работ по дисциплине «Токсикология» направление подготовки: 20.03.01, 20.04.01 «Техносферная безопасность», квалификация бакалавр и магистр очно-заочной формы обучения / Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева; сост.: В.М. Смирнова, М.Н. Ребрушкин, Г.Н. Борисова, А.В. Борисов. Нижний Новгород, 2021. – 39 с.

Рассмотрены экологические аспекты токсикологии и оценочные критерии экологического риска воздействия токсикантов на окружающую среду, экологическая безопасность функционирования химически опасных предприятий. Приведена методика расчета риска и прогнозирования масштабов заражения воздуха. Рассмотрена гигиеническая оценка степени загрязнения почв химическими веществами.

Учебно-методическое пособие рекомендуется бакалаврам и магистрам направления подготовки 20.03.01 и 20.04.01 «Техносферная безопасность» очно-заочной формы обучения для выполнения практических и контрольных работ по дисциплине «Токсикология», а также для выполнения ВКР.

Научный редактор А.Б. Елькин

Редактор Э.Б. Абросимова

Подписано в печать 26.05.2021. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага газетная.

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,5. Тираж 75 экз. Заказ .

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.

Типография НГТУ. 603950, г. Нижний Новгород, ул. К. Минина, 24.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Тема 1. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ</b> .....	4
1.1. Построение расчетной модели анализа риска загрязнения атмосферы для загрязнителей одного класса опасности, но имеющих разную ПДК .....	10
1.2. Расчетные характеристики экологического риска по точкам максимальной концентрации на предприятии и на границы СЗЗ .....	19
<b>Тема 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАСШТАБОВ ЗАРАЖЕНИЯ ВОЗДУХА ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ</b> .....	22
<b>Тема 3. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ</b> .....	27
3.1. Оценка степени (категории) загрязнения почв химическими веществами .....	28
3.2. Оценка степени (категории) загрязнения почв населенных пунктов химическими веществами .....	31
Приложение 3.1 .....	36
Приложение 3.2 .....	38
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	39

# Тема 1. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ АНАЛИЗА РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

## Теоретические сведения

Оценку опасности и риска применения вещества проводят в процессе сопоставления информации о его дозе воздействия (экспозиции) и биологическом (токсическом) действии. Под экспозицией понимают количество химиката, приходящегося на одну мишень (организм, орган, ткань и т.д.), а под токсичностью — потенциальную опасность химиката, его способность причинить вред. Качественно риск характеризуют через природу неблагоприятных последствий, а количественно — через вероятность их возникновения. Он может быть также представлен и оценен как произведение: Риск = экспозиция × токсичность.

**Риск потенциальный** — угроза возникновения неблагоприятных последствий для организма человека, определяемая как вероятность возникновения таких последствий при заданных условиях. Выражается в процентах или долях единицы. Риск представляет собой меру вероятности появления нарушений соответствующей тяжести. Это означает, что при анализе риска необходимо определить вероятность данной дозы воздействия (экспозиции), т.е. концентрации длительности ее воздействия, и на этой основе определить вероятность вредного влияния на организм. При токсикологических исследованиях человека стремятся определить риск нанесения вреда с точностью до единицы при объеме выборки 1 млн человек, хотя это возможно пока лишь для немногих исчерпывающе исследованных веществ (табл.1.1).

*Таблица 1.1*

**Распределение источников экологической опасности и риска по их вкладу в техногенную нагрузку на среду обитания**

Источники экологической опасности и риска	Относительная доля, %
Тяжелые металлы (Hg, Cd, Se, Ni, As и др.)	28
Органические токсиканты (полициклические ароматические углеводороды и др.)	27
Смешанные отходы (неорганические и органические)	20
Пестициды	15
Радионуклиды ( $Cs^{137}$ и др.)	6
Газы (диоксид серы, оксид азота, озон и др.)	3
Микроорганизмы, созданные генной инженерией	1

Техногенный риск по различным регионам России находится в пределах от  $0,70 \cdot 10^{-5}$  до  $1,88 \cdot 10^{-5}$  на человека в год, при этом среднее зна-

чение этого риска для России в целом составляет  $0,90 \cdot 10^{-5}$  на человека в год.

**Экологический мониторинг (ЭМ)** - это комплексный мониторинг состояния биосферы. Он включает в себя контроль изменений состояния окружающей человека среды под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

Основными задачами ЭМ антропогенных воздействий являются:

- наблюдение за источниками антропогенного воздействия;
- наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
- наблюдение за состоянием окружающей среды (ОС) и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;
- оценка физического состояния ОС;
- прогноз изменения состояния ОС под влиянием антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния ОС.

Экологический мониторинг включает в себя следующие основные практические направления:

- наблюдение за состоянием ОС и факторами, воздействующими на нее;
- оценку фактического состояния ОС и уровней загрязнения;
- прогноз состояния ОС в результате возможных загрязнений и оценку этого состояния.

Объектами мониторинга являются атмосфера (приземный слой атмосферы и верхняя атмосфера); атмосферные осадки, поверхностные воды суши, океаны и моря, подземные воды (мониторинг гидросферы), криосфера (мониторинг составляющих климатической системы).

По объектам наблюдения различают мониторинг атмосферный, воздушный, почвенный, климатический, растительности, животного мира, здоровья населения и т.д. Существует классификация систем мониторинга по факторам, источникам и масштабам воздействия.

Мониторинг факторов воздействия - мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнения - мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

По масштабам воздействия мониторинг бывает пространственным и временным. По характеру обобщения информации различают следующие системы мониторинга.

Глобальный мониторинг - слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях.

Базовый (фоновый) мониторинг - слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний.

Национальный - мониторинг в масштабах страны. Региональный - слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы. Локальный - мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника. Импактный - мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах (табл.1.2).

Классификация систем мониторинга может основываться и на методах наблюдения (мониторинг по физико-химическим и биологическим показателям, дистанционный мониторинг).

Химический мониторинг - это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязнителей. Глобальной задачей химического мониторинга является определение фактического уровня загрязнения окружающей среды (ОС) приоритетным высокотоксичным ингредиентом.

*Таблица 1.2*

**Классификация приоритетных загрязняющих веществ и контроль за их содержанием в различных средах**

Класс приоритетности	Загрязняющие вещества	Среда	Программы измерения
1	2	3	4
I	SO <sub>2</sub> ; и аэрозоли Радионуклиды Sr <sup>90</sup> , Cs <sup>137</sup>	Воздух  Пища	И, Р, Б, Г И,Р
II	Озон Хлорорганические вещества Кадмий	Воздух Биота, человек Пища, человек, вода	И, Б И,Р И
III	Нитраты, нитриты Оксиды азота	Питьевая вода, пища Воздух	И  И

1	2	3	4
IV	Ртуть и его соединения	Пища, воздух	И,Р
	Свинец	Воздух, пища	И
	Диоксид углерода	Воздух	Б
V	Оксид углерода	Воздух	И
	Нефтеуглероды	Морская вода	Р,Б
VI	Фтористые соединения	Питьевая вода	И
VII	Асбест	Воздух	И
	Мышьяк	Питьевая вода	И
VIII	Микотоксины	Пища	И,Р
	Микробиол. загрязнение	Пища	И,Р
	Углеводороды	Воздух	И

И - импактный, Р - региональный, Б - базовый, Г –глобальный

### **Оценочные критерии экологического риска воздействия токсикантов на окружающую среду**

Последовательность выведения оценочных критериев экологического риска воздействия токсикантов на окружающую среду следующая.

Первый этап - качественная оценка и идентификация неблагоприятных факторов окружающей среды, включая факторы риска в промышленности.

Второй этап - количественная оценка риска превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в условиях конкретных производств.

Поведение загрязнителей в окружающей среде обычно обусловлено довольно сложными закономерностями, и точное прогнозирование их влияния на организм человека весьма затруднительно. Лишь в редких случаях известны или легко могут быть получены точные уравнения, определяющие их поведение. В большинстве случаев для того, чтобы предсказать поведение токсикантов, приходится делать упрощающие предположения. В равной степени это относится и к расчету реальной дозы (концентрации) вредных веществ, которая действует на человека через окружающую среду.

## Методика расчета

Токсикология окружающей среды основана в значительной степени на предположении о том, что токсичность встречающихся в окружающей среде загрязняющих веществ с низкими уровнями концентрации прямо пропорциональна этой концентрации. Предполагается также, что чем больше продолжительность контакта вещества с биологическим объектом, тем больше вероятность токсических эффектов. На основании этого делается вывод о том, что для установления токсичности того или иного загрязняющего окружающую среду вещества нужно знать его концентрацию (дозу), попавшую в организм за счет дыхания, питьевой воды, пищи или другим путем, и время его нахождения в организме.

Система расчета риска предполагает использование следующего уравнения:

$$R = [1 - \exp(-UR \times C)], \quad (1)$$

где  $R$  – риск возникновения неблагоприятного эффекта, определяемый как вероятность (в долях единицы) возникновения этого эффекта при заданных условиях;  $C$  – реальная концентрация (или доза) вещества, оказывающая воздействие;  $UR$  – единица риска, определяемая как фактор (коэффициент) пропорции роста риска в зависимости от значения действующей концентрации (доза).

При применении этого уравнения основная трудность будет заключаться в определении значения  $UR$  и реальной концентрации  $C$ .

Для расчета значения  $UR$  можно использовать два основных приема. Первый прием основывается на данных эпидемиологического характера о степени нарушения здоровья при определенных дозо-временных условиях (на основе когортных исследований и исследований «случай – контроль»). Второй прием использует информацию о значениях пороговых концентраций, которые определяются в ходе экспериментальных исследований, имеющих целью разработку регламентов предельного содержания вредных веществ в объектах окружающей среды.

В основу применяемой в данной работе методологии расчета риска взят второй прием. При этом заметим, что в ходе экспериментальных исследований, имеющих целью разработку регламентов предельного содержания вредных веществ в объектах окружающей среды, в качестве пороговых концентраций принимаются минимальные из них, вызывающие эффект токсического действия с вероятностью не менее чем 16%.



Пороговые концентрации  $C_{пор}$  связаны с максимальными недействующими (ПДК) следующим уравнением:

$$ПДК = C_{пор} / K_3, \quad (2)$$

где  $K_3$  - коэффициент запаса, зависящий от класса опасности вещества.

В случае регламентирования содержания примесей в атмосферном воздухе населенных мест,  $K_3$  определяется для веществ:

1-го класса опасности на уровне (как минимум) 7,5;

2-го класса — на уровне 6;

3-го класса — на уровне 4,5;

4-го класса — на уровне 3.

При принятии этого допущения уравнение (1) приобретает вид:

$$R = 1 - \exp\left(\frac{\ln 0,84}{ПДК \times K}\right) C. \quad (3)$$

Третий этап - анализ результатов, полученных на первом и втором этапах алгоритма, и уточнение изучаемых характеристик диалогического риска.

Для предупреждения развития немедленных токсических эффектов разрабатываются максимальные разовые ПДК ( $ПДК_{мр}$ ), которые предназначены для регламентирования максимальных уровней приземных концентраций загрязняющих веществ.

**Вероятность токсического воздействия вещества  $P_{rob}$**  при оценке кратности превышения  $ПДК_{мр}$  определяется в соответствии с классом опасности:

$$1\text{-й: } P_{rob} = -9,15 + 11,66 \lg(C/ПДК_{мр}) \quad (4)$$

$$2\text{-й: } P_{rob} = -5,51 + 7,49 \lg(C/ПДК_{мр}) \quad (5)$$

$$3\text{-й: } P_{rob} = -2,35 + 3,73 \lg(C/ПДК_{мр}) \quad (6)$$

$$4\text{-й: } P_{rob} = -1,41 + 2,33 \lg(C/ПДК_{мр}) \quad (7)$$

При этом пересчет  $P_{rob}$  в величину риска  $R$  осуществляется в соответствии с уравнением нормального вероятного распределения либо с помощью соответствующих компьютерных программ.

Для решения этой задачи необходимо использовать программу «Microsoft Excel» с применением стандартной формулы «=НОРМСТРАСП()».

## **1.1. Построение расчетной модели анализа риска загрязнения атмосферы для загрязнителей одного класса опасности, но имеющих разную ПДК**

Для оценки качества атмосферы и анализа возможного экологического риска расчет проводят с учетом трех значений (уровней) концентраций загрязняющих веществ:

- 1) в точке концентрации, соответствующей значению ПДК;
- 2) в точке концентрации, меньшей значения ПДК;
- 3) в точке концентрации, большей значения ПДК.

### **Порядок выполнения работы**

По каждому заданному веществу отдельно необходимо:

1. Рассчитать риск загрязнения атмосферы при различных концентрациях вещества в воздухе.
2. Построить график зависимости величины риска от различных уровней вещества в воздухе.
3. Рассчитать вероятность эффекта, выраженную в пробитах ( $P_{\text{rob}}$ ) при различных уровнях загрязнения воздуха.
4. Провести перерасчет ( $P_{\text{rob}}$ ) в величину риска ( $R2$ ) в соответствии с уравнением нормального вероятностного распределения, или используя программы «Microsoft Excel». Результаты перевода значений  $P_{\text{rob}}$  в величины  $R$  представить в виде таблицы.
5. Построить график взаимозависимости параметров в виде диаграмм:
  - концентрация вещества ( $C$ );
  - величины риска ( $R1$ );
  - вероятность токсического действия ( $P_{\text{rob}}$ ).
6. Сопоставить расчетные характеристики факторов экологического риска загрязнения воздуха по обоим заданным веществам (в виде таблицы).
7. Сделать выводы о наиболее опасном загрязнителе ретроспективной, текущей и перспективной оценки качества окружающей среды.

Исходные данные контрольных заданий по вариантам приведены в табл. 1.9.

### **Пример выполнения задания**

Рассмотрим построение расчетной модели анализа риска загрязнения атмосферы для загрязнителей, относящихся к одному классу опасности, но имеющих различные ПДК, на примере бутилацетата и ацетона.

## Расчет риска загрязнения атмосферы при различных концентрациях бутилацетата в воздухе

Бутилацетат ( $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ )— жидкость, температура кипения  $125^\circ\text{C}$ . Обладает слабым наркотическим свойством, вызывает выраженное раздражение глаз и верхних дыхательных путей.

Бутилацетат характеризуется следующими параметрами:

$\text{ПДК} = 0,1 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{K}_3$  по четвертому классу опасности равно 3.

Проведем расчет риска для данного загрязнителя:

$$R = 1 - e^{\frac{\ln 0,84}{\text{ПДК} \times \text{K}} \times C} = 1 - e^{\frac{\ln 0,84}{0,3} \times C} = 1 - e^{-0,581 \times C}; \quad (8)$$

1)  $C = 0,05 \text{ мг/м}^3$ ;

$$R = 1 - e^{-0,581 \times C} = 1 - e^{-0,581 \times 0,05} = 1 - 0,9717 = 0,0283;$$

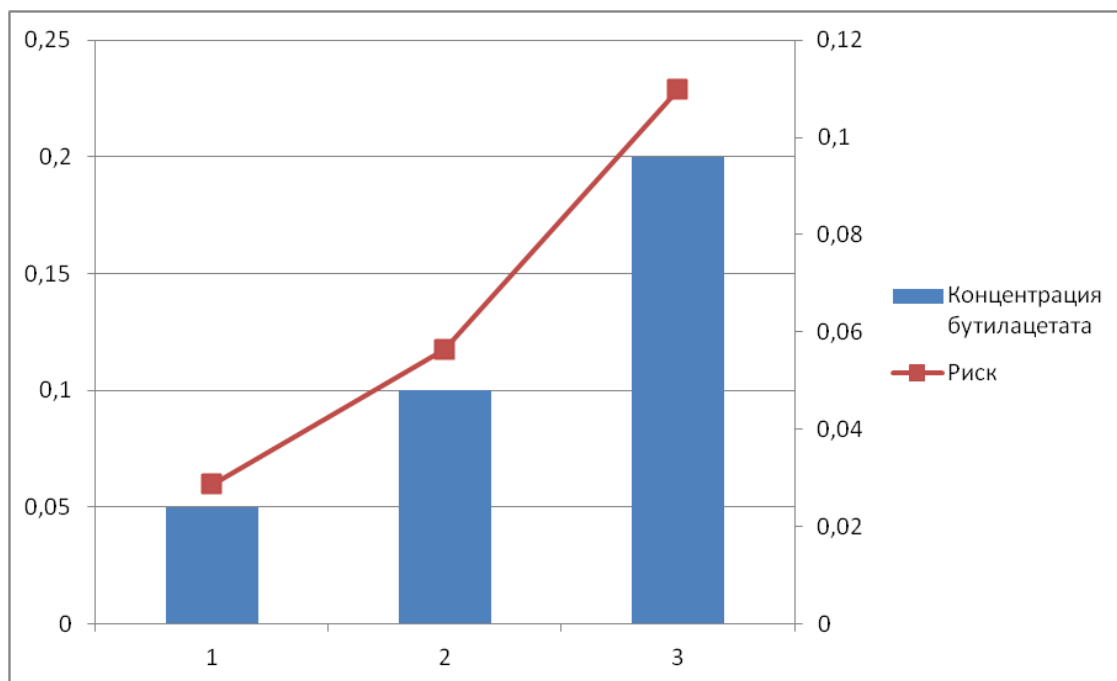
2)  $C = 0,1 \text{ мг/м}^3$

$$R = 1 - e^{-0,581 \times C} = 1 - e^{-0,581 \times 0,1} = 1 - 0,9436 = 0,0564;$$

3)  $C = 0,2 \text{ мг/м}^3$

$$R = 1 - e^{-0,581 \times C} = 1 - e^{-0,581 \times 0,2} = 1 - 0,89 = 0,11.$$

Построим графическую зависимость риска от различных уровней бутилацетата в воздухе (рис. 1).



**Рис.1. График зависимости величины риска от различных уровней бутилацетата в воздухе:**

*левая ось координат – концентрация бутилацетата, правая ось – величина риска*

Для веществ 4-го класса опасности, к которому относится бутилацетат ( $ПДК_{\text{мр}} = 0,1 \text{ мг/м}^3$ ), вероятность эффекта ( $R$ ), выраженная в пробитах,  $P_{\text{rob}}$  рассчитывается в соответствии с уравнением 7.

$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg \left( \frac{C}{ПДК_{\text{мр}}} \right) = -1,41 + 2,33 \lg \left( \frac{C}{0,1} \right) = -1,41 + 2,33 \lg(10C); \quad (9)$$

$$1) C = 0,05 \text{ мг/м}^3;$$

$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg(10C) = -1,41 + 2,33 \lg 10 \times 0,05 = -2,111;$$

$$2) C = 0,1 \text{ мг/м}^3;$$

$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg(10C) = -1,41 + 2,33 \lg 10 \times 0,1 = -1,41;$$

$$3) C = 0,2 \text{ мг/м}^3;$$

$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg(10C) = -1,41 + 2,33 \lg 10 \times 0,2 = -0,7086.$$

Результаты перевода значений  $P_{\text{rob}}$  в величины  $R$  представлены в виде табл. 1.3.

Построенную графическую зависимость параметров  $C$ ,  $P_{\text{rob}}$ ,  $R$  для бутилацетата отражает рис.2, согласно которому при концентрациях меньших ПДК риск стремится к нулю, при больших – возрастает.

**Таблица 1.3**

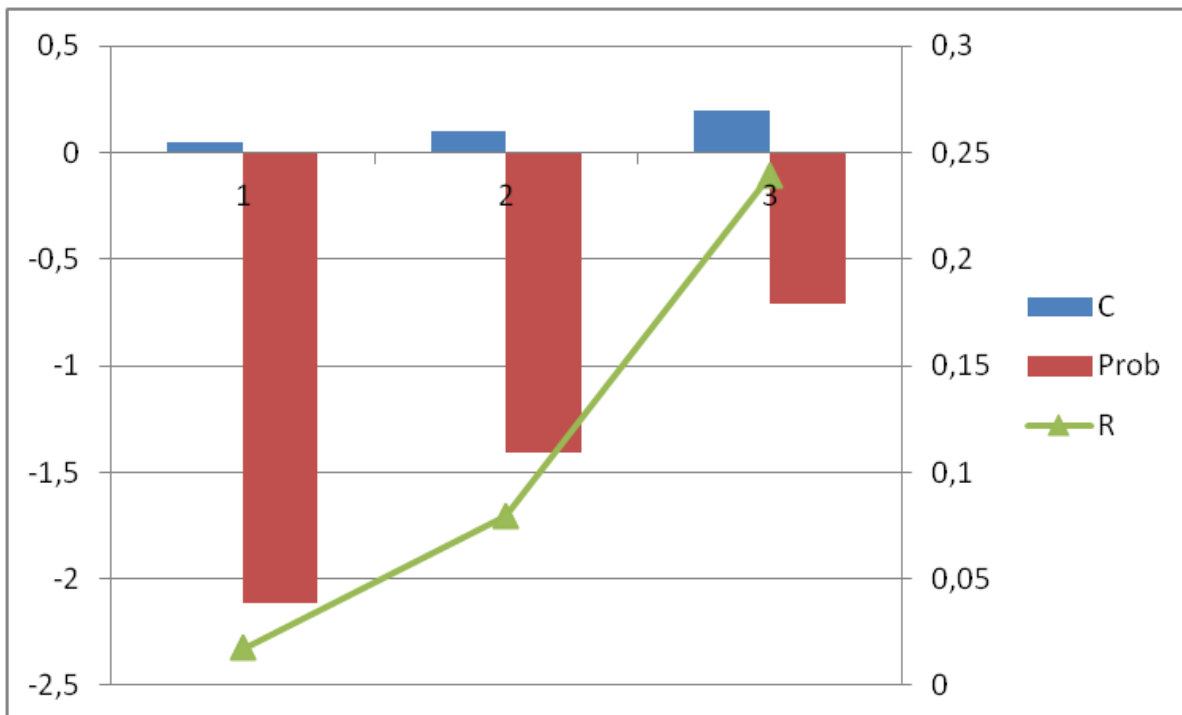
**Соответствие концентраций бутилацетата, величины риска и вероятности токсического воздействия вещества**

Бутилацетат		
C	$P_{\text{rob}}$	R
0,05	-2,111	0,017386
0,1	-1,41	0,07927
0,2	-0,7086	0,239286
ПДК = 0,1 мг/м <sup>3</sup> , четвертый класс опасности		

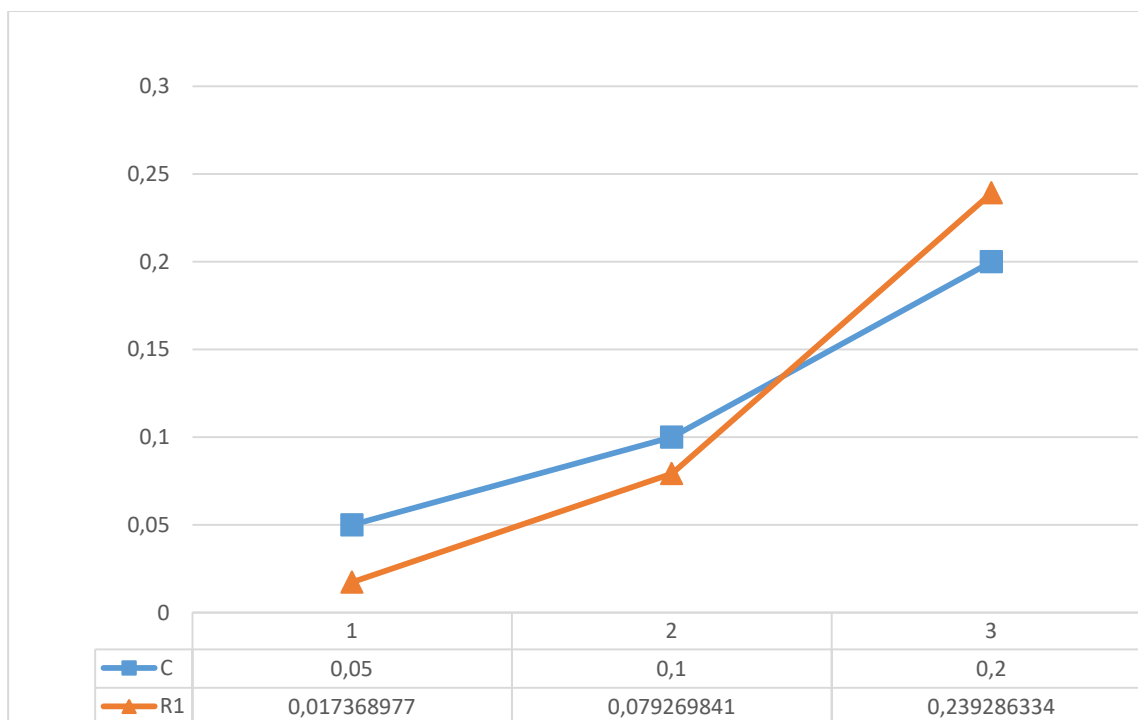
Представляет практический интерес сопоставление величин риска  $R$ , полученных при его расчете с учетом ПДК и класса опасности.

Графическое отображение данной зависимости показано на рис.3, анализ которой позволил прийти к заключению о том, что динамика уровней риска сопоставима при расчете в первом и во втором случаях.

Для иллюстрации зависимости величин риска от качества окружающей среды (уровня бутилацетата в воздухе) расчет проведен с учетом трех значений концентраций рассматриваемых веществ: 1) в точке концентрации, соответствующей значению ПДК; 2) в точке концентрации, меньшей значения ПДК; 3) в точке концентрации, большей значения ПДК.



**Рис. 2. График взаимозависимости концентраций бутилацетата, величин риска и вероятности токсического воздействия вещества:**  
*левая ось координат – уровни C и  $P_{rob}$ , правая ось – величина R*



**Рис. 3. Сопоставление графической зависимости концентрации бутилацетата и величины риска R**

## Расчет риска загрязнения атмосферы при различных концентрациях ацетона в воздухе

**Ацетон** (диметилкетон, пропанон  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) — бесцветная, летучая, воспламеняющаяся жидкость. Неочищенный ацетон может содержать примеси органических кислот, альдегидов и других веществ. Раздражает слизистые оболочки, угнетает центральную нервную систему. Высокие концентрации паров ацетона приводят к раздражению слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей, к головной боли, возможны обморочные состояния, наркоз, кома. Прием внутрь токсических доз вызывает раздражение желудочно-кишечного тракта, наркоз, повреждение печени и почек.

Ацетон характеризуется следующими параметрами:

ПДК -  $0,35 \text{ мг/м}^3$ ,  $K_3$  по четвертому классу опасности 3.

Проведем расчет риска для данного загрязнителя:

$$R = 1 - e^{\frac{\ln 0,84}{\text{ПДК} \times K_3} \times C} = 1 - e^{\frac{\ln 0,84}{1,05} \times C} = 1 - e^{-0,166 \times C}; \quad (10)$$

1)  $C=0,1 \text{ мг/м}^3$ ;

$$R = 1 - e^{-0,166 \times C} = 1 - e^{-0,166 \times 0,1} = 1 - 0,9835 = 0,0165;$$

2)  $C=0,35 \text{ мг/м}^3$ ;

$$R = 1 - e^{-0,166 \times C} = 1 - e^{-0,166 \times 0,35} = 1 - 0,94355 = 0,0564;$$

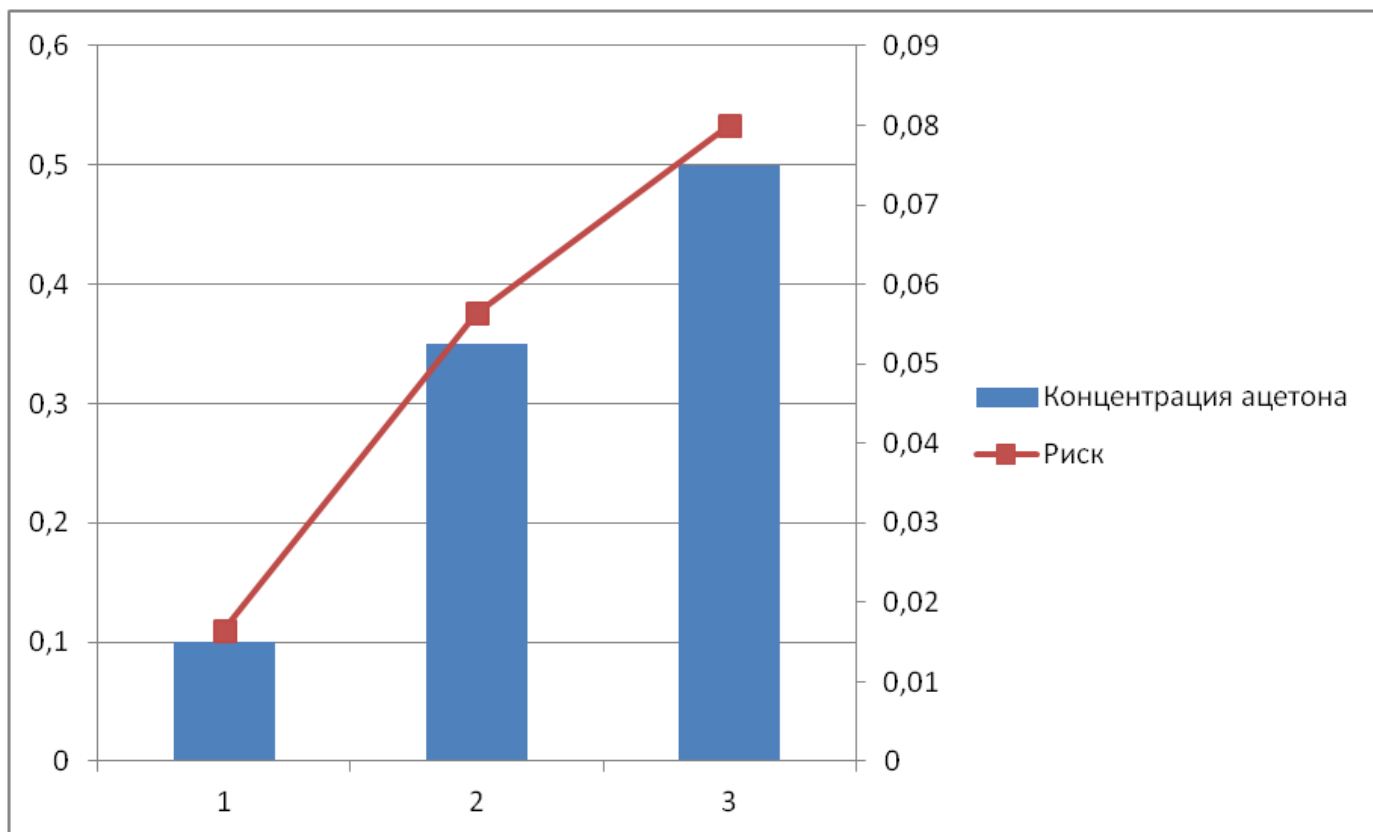
3)  $C=0,5 \text{ мг/м}^3$ ;

$$R = 1 - e^{-0,166 \times C} = 1 - e^{-0,166 \times 0,5} = 1 - 0,92 = 0,08.$$

Построим графическую зависимость риска от различных уровней ацетона в воздухе (рис.4).

Для веществ 4-го класса опасности, к которому относится ацетон ( $\text{ПДК}_{\text{мр}}=0,35 \text{ мг/м}^3$ ), вероятность эффекта ( $R$ ), выраженная в пробитах,  $P_{\text{роб}}$  - рассчитывается в соответствии с уравнением 7.

$$P_{\text{роб}} = -1,41 + 2,33 \lg(C/\text{ПДК}_{\text{мр}}) = -1,41 + 2,33 \lg(C/0,35). \quad (11)$$



**Рис. 4. График зависимости величины риска от различных уровней ацетона в воздухе:**

*левая ось координат – концентрация ацетона, правая ось – величина риска*

1)  $C=0,1 \text{ мг/м}^3$

$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg(C/0,35) = 1,41 + 2,33 \lg(0,1/0,35) = -2,677$$

2)  $C=0,35 \text{ мг/м}^3$

$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg(C/0,35) = 1,41 + 2,33 \lg(0,35 / 0,35) = -1,41$$

3)  $C=0,5 \text{ мг/м}^3$

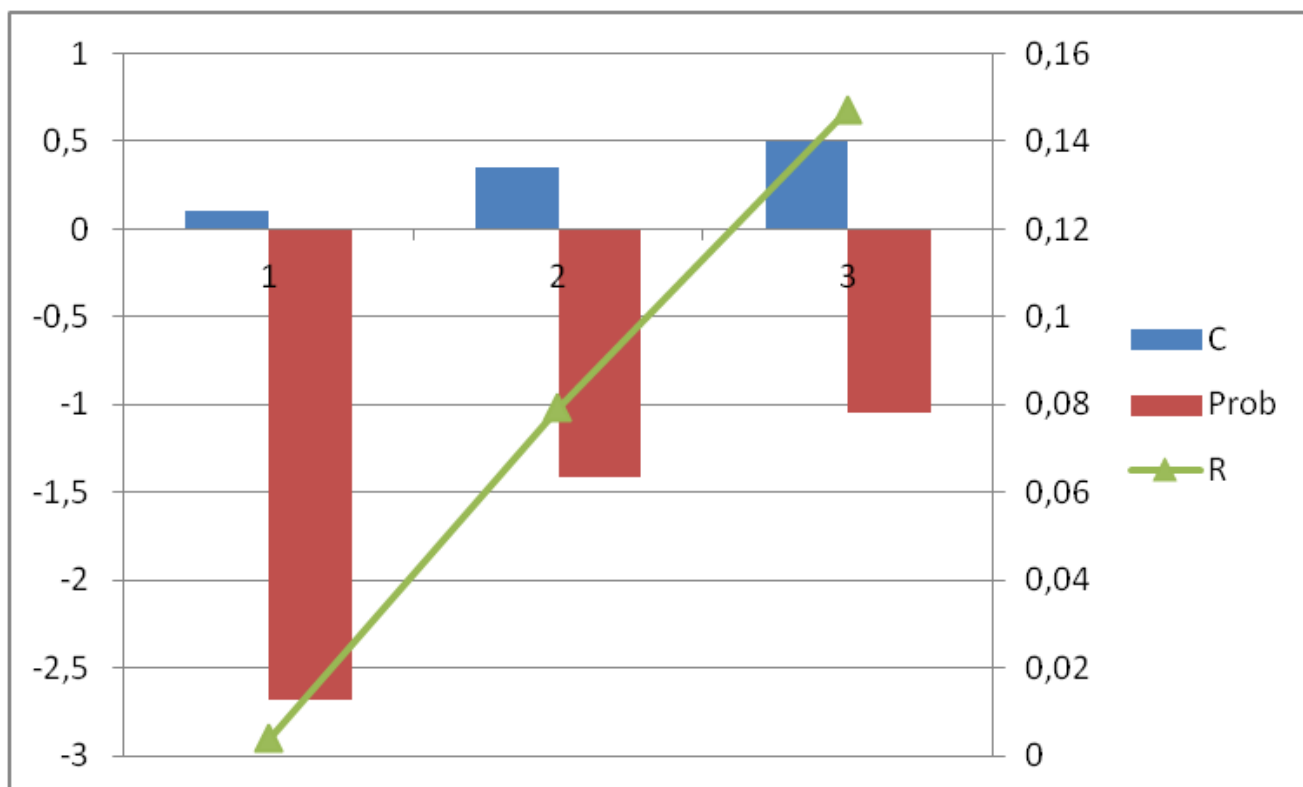
$$P_{\text{rob}} = -1,41 + 2,33 \lg(C/0,35) = 1,41 + 2,33 \lg(0,5/0,35) = -1,049$$

Результаты перевода значений  $P_{\text{rob}}$  в величины  $R$  представлены в табл. 1.4.

Построенную графическую зависимость параметров  $C$ ,  $P_{\text{rob}}$ ,  $R$  отражает рис.5, согласно которому при концентрациях меньших ПДК риск стремится к нулю, при больших — возрастает.

**Соответствие концентраций ацетона величинам риска и вероятности токсического воздействия вещества**

Ацетон		
$C$	$P_{\text{rob}}$	$R$
0,1	-2,677	0,003714
0,35	-1,41	0,07927
0,5	-1,049	0,147089
ПДК = 0,35 мг/м <sup>3</sup> , четвертый класс опасности		



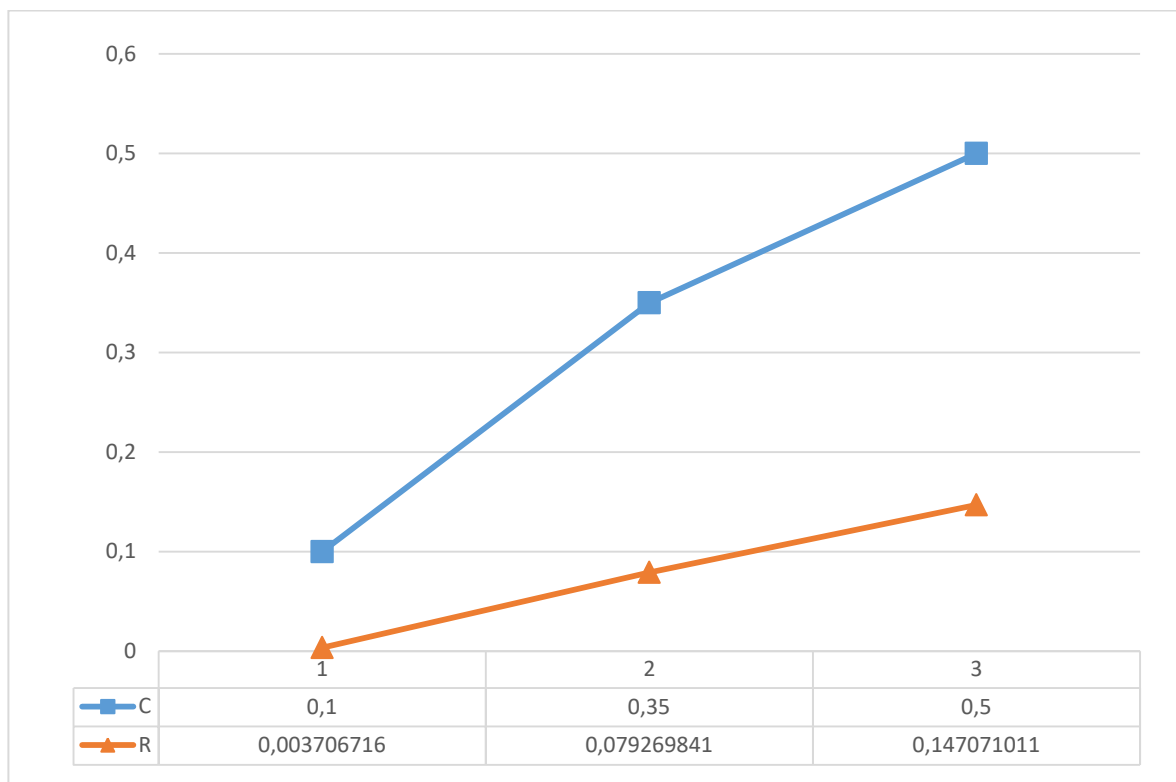
**Рис. 5. График взаимозависимости концентраций ацетона, величин риска и вероятности токсического воздействия вещества:**

*левая ось координат – уровни  $C$  и  $P_{\text{rob}}$ , правая ось – величина  $R$*

Представляет практический интерес сопоставление величин риска  $R$ , полученных при его расчете с учетом ПДК, и класса опасности.

Графическое отображение данной зависимости показано на диаграмме 6, анализ которой позволил прийти к заключению о том, что динамика уровней риска сопоставима при расчете в первом и во втором случаях.





**Рис. 6. Сопоставление графической зависимости концентрации ацетона и величины риска  $R$**

Для иллюстрации зависимости величин риска от качества окружающей среды (уровня ацетона в воздухе) расчет проведен аналогично бутилацетату с учетом трех значений концентраций рассматриваемых веществ:

- 1) в точке концентрации, соответствующей значению ПДК;
- 2) в точке концентрации, меньшей значения ПДК;
- 3) в точке концентрации, большей значения ПДК.

### **Сопоставление расчетных характеристик факторов экологического риска загрязнения воздуха бутилацетатом и ацетоном**

Для сопоставления расчетных характеристик факторов экологического риска загрязнения воздуха бутилацетатом и ацетоном ключевым является второй этап алгоритма расчета риска и его зависимости от качества окружающей среды, позволивший на практическом примере подтвердить прямо пропорциональную зависимость концентрации загрязнителя и риска, обусловленного превышением ПДК, и сопоставить выраженность его количественной характеристики в зависимости от концентрации и соответствующего класса опасности загрязнителя (табл. 1.5).

На третьем этапе реализации алгоритма расчета риска учитывается вероятность токсического воздействия вещества. При этом также было

отмечено, что при одинаковой концентрации  $0,1 \text{ мг/м}^3$  значение риска для бутилацетата больше, чем для ацетона.

*Таблица 1.5*

**Сравнительная характеристика величин риска в зависимости от концентрации и соответствующего класса опасности загрязнителя**

Бутилацетат		Ацетон	
<i>C</i>	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
0,05	0,0286	0,1	0,0165
0,1	0,0564	0,35	0,0564
0,2	0,11	0,5	0,08
ПДК = $0,1 \text{ мг/м}^3$ , четвертый класс опасности		ПДК = $0,35 \text{ мг/м}^3$ , четвертый класс опасности	

**Вывод:** анализ полученных данных показывает, что величины риска изменяются в зависимости от концентраций загрязнителей бутилацетата и ацетона, имеющих один и тот же класс опасности, но разную ПДК. Ацетон, по сравнению с бутилацетатом, отличается в 3,5 раза большей ПДК. Следовательно, бутилацетат – более опасный загрязнитель, что и подтверждается расчетом риска: при одинаковой концентрации  $0,1 \text{ мг/м}^3$  значение риска для бутилацетата составляет 0,0564, а для ацетона 0,0165; т.е. риск для бутилацетата в 3,42 раза больше по отношению к ацетону.

## 1.2. Расчетные характеристики экологического риска по точкам максимальной концентрации на предприятии и на границы СЗЗ

### Порядок выполнения работы

1. Рассчитать характеристики экологического риска по точкам максимальной концентрации на предприятии;
2. Рассчитать характеристики экологического риска по точкам на границе СЗЗ на предприятии;
3. Рассчитать характеристики экологического риска по точкам максимальной концентрации на предприятии (положение на перспективу с учетом и без учета фона);
4. Сделать выводы об экологическом риске загрязнения воздуха веществами в условиях конкретного производства.

Исходные данные контрольных заданий по вариантам приведены в табл.1.9.

### Пример выполнения задания

Используя в качестве примера данные из расчета №1 (формулы 8 и 9), определим риск загрязнения атмосферы при различных концентрациях загрязнителей на территории предприятия и на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ).

Результаты расчета и данные максимальных приземных концентраций с учетом фона и без учета фона на территории предприятия и на границе СЗЗ приведены в табл.1.6 и 1.7.

В перспективе с учетом и без учета фона точки максимальной концентрации совпадают и для бутилацетата, и для ацетона.

Соответствующие расчетные характеристики факторов экологического риска загрязнения воздуха отображает табл. 1.8.

Таблица 1.6

Расчетные характеристики экологического риска по точкам максимальной концентрации на предприятии (существующее положение с учетом фона)

Наименование вещества		$C_{\text{макс}}$	$P_{\text{гров}}$	$R$
Бутилацетат	ПДК=0,1мг/м <sup>3</sup>	0,2913	-0,3277	0,3716
Ацетон	ПДК=0,35 мг/м <sup>3</sup>	0,9226	-0,4291	0,3339

**Таблица 1.7**

**Расчетные характеристики экологического риска по точкам на границе СЗЗ на предприятии (существующее положение с учетом фона)**

Наименование вещества		$C$	$P_{\text{rob}}$	$R$
Бутилацетат	ПДК=0,1 мг/м <sup>3</sup>	0,10	-1,3589	0,0871
Ацетон	ПДК=0,35 мг/м <sup>3</sup>	0,35	-0,4775	0,3164

**Таблица 1.8**

**Расчетные характеристики экологического риска по точкам максимальной концентрации на предприятии (положение на перспективу с учетом и без учета фона)**

Наименование вещества		$C_{\text{макс}}$	$P_{\text{rob}}$	$R$
Бутилацетат	ПДК=0,1 мг/м <sup>3</sup>	0,3186	-0,2372	0,4062
Ацетон	ПДК=0,35 мг/м <sup>3</sup>	0,8395	-0,5246	0,2999

**Вывод:** анализ расчетных данных таблиц 1.6, 1.7 и 1.8 позволяет прийти к следующему заключению:

- в точках максимальной концентрации на перспективу, по сравнению с существующим положением, величины риска  $R$  повышены для бутилацетата и снижены для ацетона;
- изменения значений риска  $R$  коррелируют с вероятностью токсического воздействия вещества  $P_{\text{rob}}$ ;
- в точках на границе СЗЗ по бутилацетату имеется незначительное превышение ПДК, однако концентрация этого загрязнителя на границе СЗЗ почти в 3 раза меньше, чем в точках максимальной концентрации с учетом фона.

Таблица 1.9

## Исходные данные контрольных заданий по вариантам

№	Токсикант	Класс опасности	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Уровни концентрации, мг/м <sup>3</sup>	Максимальная концентрация (С <sub>макс</sub> ) на предприятии (существующая) мг/м <sup>3</sup>	Максимальная концентрация (С <sub>макс</sub> ) на предприятии (на перспективу), мг/м <sup>3</sup>
1	Ванадия (5) оксид	1	0,002	0,001 - 0,004	0,00495	0,00512
	Фосфоро водород	1	0,001	0,0009- 0,0015	0,0016	0,00165
2	Фтор	1	0,005	0,002- 0,01	0,0203	0,0214
	Этиленамин	1	0,001	0,0005 - 0,002	0,0029	0,0031
3	Бензол	2	0,1	0,006 – 0,2	0,2321	0,2410
	Формальдегид	2	0,003	0,0015 – 0,006	0,0068	0,0072
4	Формальдегид	2	0,003	0,0015– 0,015	0,0157	0,0160
	Хлор	2	0,03	0,015 – 0,06	0,0742	0,0793
5	Взвешенные вещества в виде пыли	3	0,15	0,07-0,3	0,321	0,405
	Оксид железа	3	0,04	0,02-0,07	0,085	0,092
6	Аммиак	4	0,04	0,02-0,08	0,086	0,090
	Калий серноокислый	4	0,05	0,02-0,1	0,175	0,180
7	Толуол	3	0,6	0,3-1,2	1,25	1,32
	Магния оксид	3	0,05	0,02-0,6	0,62	0,629
8	Бром	2	0,04	0,02-0,08	0,087	0,092
	Серная кислота	2	0,1	0,04-0,2	0,31	0,42
9	Бензин (нефтяной)	4	1,5	0,6-3,0	3,92	4,08
	Аммоний нитрат	4	0,3	0,15-0,6	0,68	0,74

## Тема 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАСШТАБОВ ЗАРАЖЕНИЯ ВОЗДУХА ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

### Теоретические сведения

Экологическая безопасность функционирования химически опасных предприятий зависит от многих факторов, например, физико-химических свойств сырья, полуфабрикатов и готового продукта, характеристик технологического процесса и др. Особенностью работы с вредными (горючими, легковоспламеняющимися) веществами (ВВ) является возможность их потенциального взрыва, пожара и выброса (разлива) в биосферу в количествах, представляющих опасность массового поражения людей, животных и окружающей среды.

Химически опасный объект (ХОО) – это объект промышленного производства, при авариях и разрушениях которого может произойти утечка в окружающую среду аварийно химически опасных веществ (АХОВ).

К АХОВ относятся вещества, применяемые в производстве, которые при аварийных утечках за короткий промежуток времени могут приводить к загрязнению воздуха на уровне поражающих концентраций.

В зависимости от масштабов заражения прилегающей к аварийному ХОО местности различают три вида аварий:

- аварии I степени, связанные с возможностью массового поражения не только производственного персонала, но и населения близлежащих районов;
- аварии II степени, влекущие за собой возможность массового поражения только производственного персонала ХОО;
- аварии химически безопасные (локальные аварии), не представляющие опасности массового поражения персонала ХОО и населения.

Эквивалентное количество<sup>1</sup> АХОВ, которое может поступить в атмосферу при аварии на ХОО, определяется исходя из следующих предположений:

- полностью разрушается емкость наибольшего объема, содержащая наиболее опасное вещество;

---

<sup>1</sup> Под эквивалентным количеством АХОВ понимается такое количество хлора, масштаб заражения которым эквивалентен масштабу заражения АХОВ, принятым в расчете.

- авария происходит при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях (состояние приземных слоев атмосферы – инверсия<sup>2</sup>, скорость ветра 1 м/с);

- для сжиженных газов расчет ведется как для первичного, так и для вторичного<sup>3</sup> облака заражения; для сжатых газов – только для первичного; для жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды, - только для вторичного.

### Методика расчета

Прогнозирование опасности аварий на ХОО предполагает оценку следующих параметров:

- количества АХОВ, которое может поступить в атмосферу;
- вероятной глубины зоны заражения местности, а следовательно, степени тяжести аварии;
- вероятной площади зоны заражения;
- продолжительности поражающего действия АХОВ.

Эквивалентное количество АХОВ, поступающее в атмосферу при аварии рассчитывается по формулам:

для первичного облака

$$Q_n = K_1 \cdot K_2 \cdot Q_0, \text{ кг}; \quad (2.1)$$

для вторичного облака

$$Q_v = \frac{(1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot Q_0}{(h \cdot \rho \cdot 10^{-3})}, \text{ кг}; \quad (2.2)$$

где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ;  
 $K_2$  – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы<sup>4</sup> хлора к пороговой токсодозе вещества, по которому ведется расчет;

---

<sup>2</sup> Инверсия – это состояние атмосферы, характеризующиеся вертикальной устойчивостью ее слоев, которая препятствует рассеиванию по высоте химического вещества и создает наиболее благоприятные условия для сохранения его высоких концентраций в приземном слое.

<sup>3</sup> Первичное облако – облако АХОВ, образующееся в результате перехода части АХОВ в атмосферу в момент аварии емкости. Вторичное облако – облако АХОВ, образующееся в результате испарения разлившегося вещества с подстилающей поверхности.

<sup>4</sup> Пороговая токсодоза – ингаляционная токсодоза, вызывающая начальные симптомы поражения.

$K_3$  – коэффициент, определяемый физико-химическими свойствами АХОВ;

$K_4$  – коэффициент, зависящий от времени  $\tau$ , прошедшего после начала аварии;

$Q_0$  – количество выброшенного при аварии вещества, кг;

$\rho$  – плотность АХОВ в аварийной емкости, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – толщина слоя жидкости для АХОВ, разлившихся на подстилающей поверхности (принимается равной 0,05 м).

Значения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  принимаются по табл. 2.1, а коэффициент  $K_4$  определяется после расчета продолжительности  $T$ , ч, испарения вещества из условий:

$$K_4 = \begin{cases} \tau^{0,8}, & \text{при } \tau \leq T; \\ T^{0,8}, & \text{при } \tau \geq T. \end{cases} \quad (2.3)$$

**Таблица 2.1**

**Характеристики АХОВ и вспомогательные коэффициенты для определения масштабов заражения окружающей среды**

Наименование АХОВ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Температура кипения, К	Пороговая токсодоза, мг·мин/л	Значения коэффициентов		
	газ	жидкость			$K_1$	$K_2$	$K_3$
Аммиак	0,8	681	239,8	15	0,18	0,040	0,025
Водород хлористый	1,6	1191	187,9	2	0,28	0,300	0,037
Метилмеркаптан	-	867	279,0	1,7	0,06	0,353	0,043
Сернистый ангидрид	2,9	1462	262,9	1,8	0,11	0,333	0,049
Сероводород	1,5	964	212,6	16,1	0,27	0,036	0,042
Сероуглерод	3,17	1263	319,2	45,0	0	0,013	0,02
Соляная кислота	-	1198	-	2,0	0	0,300	0,02
Формальдегид	-	815	254,0	0,6	0,19	1,000	0,03
Хлор	3,2	1553	238,9	0,6	0,18	1,0	0,5

Время испарения АХОВ с площади разлива оценивается по формуле

$$T = \frac{h \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{K_3}, \text{ ч}, \quad (2.4)$$

причем при  $T < 1$  ч,  $K_4$  принимается для 1 ч.



Вероятная глубина зоны заражения, обусловленная воздействием первичного и вторичного облаков АХОВ, определяется по формуле

$$\Gamma = \Gamma_1 + 0,5\Gamma_2, \text{ км}, \quad (2.5)$$

где  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  – соответственно наибольшее и наименьшее значения глубины зоны заражения от первичного и вторичного облака, принимаемые по табл. 2.2, км.

Площадь зоны заражения местности АХОВ рассчитывается по формуле

$$S = 0,08 \cdot \Gamma^2 \cdot \tau^{0,2}, \text{ км}^2. \quad (2.6)$$

При прогнозировании возможных масштабов аварийной ситуации следует принимать  $\tau = T$ .

Продолжительность поражающего действия АХОВ на границе зоны заражения определяется временем его испарения  $T$  с площади разлива.

*Таблица 2.2*

**Глубина зоны заражения**

<b>Количество АХОВ, <math>Q_{\text{ЭКВ}} \cdot 10^{-3}</math>, кг</b>	<b>Глубина зоны заражения, <math>\Gamma \cdot 10^{-3}</math>, м</b>	<b>Эквивалентное количество АХОВ, <math>Q_{\text{ЭКВ}} \cdot 10^{-3}</math>, кг</b>	<b>Глубина зоны заражения, <math>\Gamma \cdot 10^{-3}</math>, м</b>
0,010	0,38	20,0	29,56
0,050	0,85	30,0	38,13
0,100	1,25	50,0	52,67
0,5	3,16	70,0	65,23
1,0	4,75	100,0	81,91
3,0	9,18	300,0	166,0
5,0	12,53	500,0	231,0
10,0	19,20	1000,0	363,0

## Порядок выполнения работы

Согласно варианту задания (табл. 2.3) выполнить прогнозирование масштабов заражения воздуха при авариях на химически опасных объектах (ХОО).

Таблица 2.3

Исходные данные для прогнозирования масштабов заражения воздуха при авариях на химически опасных объектах (ХОО)

№ варианта	Характеристика химически опасного объекта			Характеристика АХОВ	
	Наименование	Объем оборудования для хранения АХОВ, м <sup>3</sup>	Степень заполнения оборудования АХОВ	Наименование	Агрегатное состояние
1	Резервуары расходных складов для хранения технологического запаса веществ на предприятии	100	0,80	Хлор (Cl <sub>2</sub> )	сжиженное
2		500	0,83	Аммиак (NH <sub>3</sub> )	сжиженное
3		150	0,85	Соляная кислота (HCl)	жидкое
4		200	0,80	Серовуглерод (CS <sub>2</sub> )	жидкое
5		60	0,85	Метилмеркаптан (CH <sub>3</sub> SH)	сжиженное
6	Цистерны автомобильного и железнодорожного транспорта для перевозки АХОВ	2,0	0,85	Соляная кислота (HCl)	жидкое
7		4,0	0,80	Сероводород (H <sub>2</sub> S)	сжиженное
8		4,0	0,82	Сернистый ангидрид (SO <sub>2</sub> )	сжиженное
9		2,0	0,75	Хлористый водород (HCl)	сжиженное
10		6,0	0,80	Аммиак (NH <sub>3</sub> )	сжиженное

### **Тема 3. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

#### **Теоретические сведения**

Основными критериями гигиенической оценки степени загрязнения почв химическими веществами являются ПДК или ОДК химических веществ в почве.

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) - это комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве, так как используемые при их научном обосновании критерии отражают все пути опосредованного воздействия загрязнителя на контактирующие среды, биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения. При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания по каждому показателю вредности.

Обоснование ПДК химических веществ в почве базируется на 4 основных показателях вредности, устанавливаемых экспериментально:

- транслокационный, характеризующий переход вещества из почвы в растение;
- миграционный водный - характеризует способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;
- миграционный воздушный показатель вредности характеризует способность перехода вещества из почвы в атмосферный воздух;
- общесанитарный показатель вредности характеризует влияние загрязняющего вещества на самоочищающуюся способность почвы и ее биологическую активность.

При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания вещества по каждому показателю вредности.

Наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК, так как отражает наиболее уязвимый путь воздействия данного токсиканта.

Ориентировочно-допустимое количество (ОДК) загрязняющего почву химического вещества - предельно допустимое количество загрязняющего почву химического вещества, определенного расчетными методами.

В Прил. 3.1 приведены предельно допустимые концентрации неорганических химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности.

### 3.1. Оценка степени (категории) загрязнения почв химическими веществами

#### Методика расчета

Факторы, определяющие степень опасности загрязнения почв химическими веществами:

1. Опасность загрязнения тем выше, чем больше фактическое содержание компонентов загрязнения почвы ( $c$ ) превышает ПДК, что может быть выражено коэффициентом химического загрязнения -  $k_0$ :

$$k_0 = c / \text{ПДК}. \quad (3.1)$$

Степень загрязнения тем выше, чем больше  $k_0$ .

2. Опасность загрязнения тем выше, чем ниже класс опасности контролируемого вещества, его персистентность, растворимость в воде и подвижность в почве и глубине загрязненного слоя.

3. Опасность загрязнения тем больше, чем меньше буферность почвы, которая зависит от механического состава, содержания органических веществ, кислотности почвы.

Чем ниже содержание гумуса, рН почвы и легче механический состав, тем опаснее загрязнение химическими веществами, то есть при одной и той же величине  $k_0$  степень загрязнения будет больше для почв с кислыми значениями рН, меньшим содержанием гумуса и более легким механическим составом.

#### Порядок выполнения работы

Оценка степени (категории) загрязнения почвы химическими веществами проводится по каждому веществу. Варианты заданий представлены в табл. 3.1.

1. Определить  $k_0$  по формуле (3.1).

2. Определить класс опасности загрязняющего вещества, используя Приложение 3.1.

3. Определить максимально допустимый уровень загрязнения элемента в почве –  $k_{\max}$ , исходя из 4 показателей вредности (транслокационный, миграционный водный, миграционный воздушный, общесанитарный) по Приложению 3.1.

4. Определить категорию загрязнения почвы по табл. 3.1 с учетом класса опасности компонента загрязнения, его ПДК и максимального значения допустимого уровня содержания элементов ( $k_{\max}$ ). Фоновые концентрации принять равными «0».

Таблица 3.1

## Критерии степени загрязнения почв неорганическими веществами

Содержание в почве, мг/кг	Категория загрязнения почвы		
	Класс опасности вещества		
	1	2	3
$> k_{\max}$	очень сильная	очень сильная	сильная
от ПДК до $k_{\max}$	очень сильная	сильная	средняя
от 2 фоновых значений до ПДК	слабая	слабая	слабая

При поликомпонентном загрязнении оценка степени опасности загрязнения почвы производится по наиболее токсичному элементу с максимальным содержанием его в почве.

## Пример выполнения задания

## Задание:

1. Определить коэффициент химического загрязнения почвы  $k_0$ .
2. Определить категорию загрязнения почвы.

## Исходные данные:

Тип почвы - дерново-подзолистая с рН 1,4 - 5,6;

загрязняющее вещество (ЗВ) - марганец; концентрация ЗВ - 85 мг/кг.

Фоновые концентрации принять равными 0.

1. По Прил. 3.1 находится ПДК для марганца и заданного типа почвы, которая составила - 80 мг/кг. Тогда коэффициент химического загрязнения находится следующим образом:

$$k_0 = c / \text{ПДК} = 85 / 80 = 1,06.$$

2. Определить категорию загрязнения почвы.

По Прил. 3.1 находится класс опасности загрязняющего вещества, который составил - 3. На основании данных Прил. 3.1 определяются максимальное значение из приведенных показателей вредности - в данном случае  $k_{\max}$  составило 1000.

По табл. 3.1 определяется категория степени загрязнения почвы неорганическими веществами; так как концентрация марганца в почве (80 мг/кг) находится в интервале от ПДК до  $k_{\max}^*$  для веществ 3-го класса опасности.

Категория загрязнения почвы в данном случае - средняя.

Таблица 3.2

## Исходные данные для выполнения задания 3.1

№ варианта	Загрязняющее вещество	Концентрация загрязняющего вещества, мг/кг
1	Cr	6,2
	Zn	35,5
2	Cr	6,6
	Zn	21,2
3	Cr	8,5
	Zn	25,8
4	Cr	9,1
	Zn	22,5
5	Pb	28,9
	V	179
6	Cr	15,2
	Cu	1,5
7	Ni	6,2
	Co	92,8
8	Co	86,3
	Hg	1,1
9	Cu	75,2
	Pb	21,2
10	Pb	265,4
	Hg	2,8
11	Ni	2,8
	Cu	80,1
12	Ni	2,2
	Hg	2,5
13	Cu	8,8
	V	351
14	Cu	1,8
	V	385
15	Ni	18,5
	Cu	3,5
16	Zn	58,5
	Pb	112
17	Pb	58,2
	V	125
18	Ni	5,5
	V	185
19	Cr	10
	Co	38,6
20	Co	525,4
	V	115

### 3.2. Оценка степени (категории) загрязнения почв населенных пунктов химическими веществами

#### Методика расчета

Оценка опасности загрязнений почв населенных пунктов определяется:

- 1) эпидемиологической значимостью загрязненной химическими веществами почвы;
- 2) значимостью степени загрязнения почвы в качестве индикатора загрязнения атмосферного воздуха.

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения.

Таковыми показателями являются: коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).

Коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ) определяется из соотношения фактического содержания определяемого вещества в почве ( $C_i$ ) к региональному фоновому ( $C_{\phi i}$ ):

$$K_c = C_i / C_{\phi i}, \quad (3.2)$$

где  $C_i$  - фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг;  $C_{\phi i}$  - региональное фоновое содержание определяемого вещества, мг/кг (см. Прил.3.2).

Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов - загрязнителей и выражен формулой:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci}, \quad (3.3)$$

где  $n$  - количество определяемых суммируемых веществ;

$K_{ci}$  - коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) учитывает степень загрязнения городов как металлическими, так и другими наиболее распространенными ингредиентами (пыль, окись углерода, окислы азота, сернистый ангидрид).

Оценка неблагоприятных последствий определяется по оценочной шкале, приведенной в табл. 3.3.

Таблица 3.3

**Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв  
по суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ )**

Категории загрязнения почв	Величина $Z_c$
Допустимая	Менее 16
Умеренно опасная	16-32
Опасная	32-128
Чрезвычайно опасная	Более 128

**Порядок выполнения работы**

1. Определить коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ). Фактическое содержание определяемого вещества в почве ( $C_i$ , мг/кг) приведено в табл. 3.4; региональное фоновое содержание определяемого вещества ( $C_{fi}$ , мг/кг) - в Прил. 3.2.
2. Определить суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), который равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов - загрязнителей.
3. Провести оценку неблагоприятных последствий по оценочной шкале, приведенной в табл. 3.3.  
Варианты заданий приведены в табл. 3.4.



Таблица 3.4

## Исходные данные для выполнения задания 3.2

Вариант	Тип почвы	Загрязняющее вещество	Концентрация загрязняющего вещества, мг/кг
1	2	3	4
1	Дерново-подзолистые	Cr	6,2
		Zn	22,5
		Ni	10
		V	55,8
2	Каштановые	Cr	656,3
		Ni	178,6
		Cu	245,3
		V	23,2
3	Торфяные	Cr	15,2
		Zn	18,5
		Cu	19,3
		V	22,1
4	Чернозёмы	Cr	6,6
		Zn	5,8
		Cu	202
		Hg	0,02
5	Дерново-подзолистые	Zn	0,5
		Ni	23,5
		Cu	41,8
		V	99,3
6	Серозёмы	Cr	10
		Ni	15,2
		Cu	18,8
		V	16,2
7	Краснозёмы	Cr	8,5
		Cu	13,3
		V	72,8
		Sn	0,5
8	Чернозёмы	Cu	9,9
		Co	0,25
		V	4,7
		Cr	9,1
9	Торфяные	Cr	15,2
		Cu	18,6
		V	0,1
		Hg	0,58

1	2	3	4
10	Дерново-подзолистые	Cr	6,6
		Ni	18,2
		Co	19,7
		V	21,5
11	Каштановые	Cr	9,1
		Zn	10,5
		Ni	12,2
		Co	0,5
12	Дерново-подзолистые	Zn	25,5
		Ni	38,2
		Cu	100,5
		V	16,2
13	Чернозёмы	Cr	6,6
		Zn	9,5
		Cu	15,8
		Hg	21,5
14	Краснозёмы	Cr	8,5
		Cu	13,3
		V	72,8
		Sn	0,5
15	Чернозёмы	Cr	6,6
		Zn	6,8
		Cu	18,9
		V	25,1
16	Серозёмы	Cr	15,2
		Zn	28,5
		Cu	19,9
		V	25,8
17	Дерново-подзолистые	Cr	547,8
		Zn	155,9
		Cu	548,6
		Hg	22,3
18	Каштановые	Cr	9,1
		Ni	92,1
		Co	23,8
		V	55,7
19	Серозёмы	Cr	10
		Zn	15,8
		Cu	250
		V	262
20	Торфяные	Cr	15,2
		Ni	46,8
		Cu	12,9
		V	15,8

### Пример выполнения задания

**Задание:** Определить категорию загрязнения почвы по суммарному показателю загрязнения.

**Исходные данные:**

Тип почвы - черноземы. Концентрации загрязняющих веществ приведены в табл. 3.5

Таблица 3.5

#### Концентрации загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/кг
Pb	360
Cr	312
Ni	28

1. По Прил. 3.2 определяются фоновые концентрации для заданных загрязняющих веществ и заносятся в приведенную ниже расчетную табл.3.6.

2. Рассчитывается коэффициент концентрации химического вещества, определяемый следующим образом:  $K_c = C_i / C_{fi} = 360 / 18 = 20$ ;

3. Рассчитывается суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ):

$$20 + 0,78 + 0,58 = 21,36$$

Таблица 3.6

#### Результаты расчета

Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/кг	Фоновые концентрации, мг/кг	Коэффициент концентрации, $K_c$
Pb	360	18	20
Cr	312	400	0,78
Ni	28	48	0,58
$Z_c = 21,36$			

По табл. 3.3 - ориентировочной оценочной шкале опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения ( $Z_c$ ) находится категория загрязнения почвы. В данном случае категория загрязнения - умеренно опасная.

**Предельно допустимые концентрации (ПДК)  
неорганических химических веществ в почве и допустимые уровни  
их содержания по показателям вредности**

Наименование вещества	Форма содержания	ПДК вещества почвы с учетом фона, мг/кг	Уровни показателей вредности ( $K_1 - K_4$ ) и максимальный из них ( $K_{max}$ ), мг/кг				Класс опасности
			транслокационный ( $K_1$ )	миграционный		общесанитарный ( $K_4$ )	
				водный ( $K_2$ )	воздушный ( $K_3$ )		
1	2	3	4	5	6	7	8
Медь	Подвижные формы, извлекаемые из почвы ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8	3	3,5	72	-	3	2
Хром	Подвижные формы, извлекаемые из почвы ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8	6	6	6	6	6	2
Никель	Подвижные формы, извлекаемые из почвы ацетатно-аммонийным буфером с рН 4,8	4	6,7	14	-	4	2
Цинк	// - //	23	23	200	-	37	1
Марганец чернозем	// - //	140	320	1860	-	140	3
Марганец дерново-подзолистая почва с рН 4	// - //	60	220	1000	-	60	3
Марганец дерново-подзолистая почва с рН 1,4-5,6	// - //	80	220	1000	-	80	3

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Марганец дерново-подзолистая почва с рН > 6	// - //	100	-	1600	-	100	3
Марганец чернозем	Извлекаемый 0,1н Н <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	700	1600	9300	-	700	3
Марганец дерново-подзолистая почва с рН 4	Извлекаемый 0,1н Н <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	300	1100	5000	-	300	3
рН 5,1- 6	// - //	400	1100	5000	-	400	3
рН > 6	// - //	500	1100	8000	-	500	3
Кобальт	Аммонийно-натриевый буфер рН 3,5 для серозёмов и 4,7 для дерново-подзолистой почвы	5	25	> 1000	-	5	2
Фтор	Водорастворимый	10	10	10	-	25	1
Сурьма	Валовая	4,5	4,5	4,5	-	50	2
Марганец	Валовая	1500	3500	15000	-	1500	3
Ванадий	Валовая	150	170	350	-	150	3
Марганец + ванадий	Валовая	1000 + 100	1500 + 150	2000 + 200	-	1000 + 100	3
Свинец	Валовая	32	35	260	-	32	1
Мышьяк	Валовая	2	2	15	-	10	1
Ртуть	Валовая	2,2	2,1	33,3	2,5	5	1
Свинец + ртуть	Валовая	20 + 1	20 + 1	30 + 2	-	30 + 2	1
Хлористый калий	Валовая	560	1000	560	1000	5000	3
Нитраты	Валовая	130	180	130	-	225	2
Сернистые соединения: элементарная сера (S)	Валовая	160	180	380	-	160	3
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	Валовая	0,4	160	140	0,4	160	3
Серная кислота	Валовая	160	180	380	-	160	1

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Отходы флотации угля (ОФУ) (1)	Валовая	3000	9000	3000	6000	3000	2
Комплексные гранулированные удобрения (ГКУ) (2) NPK (64:0:15)		120	800	120	800	800	3
Жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) (3) NPK (10:4:0)	Валовая	80	> 800	80	> 8000	800	3
Бенз(а)пирен	Валовая	0,02	0,2	0,5	-	0,02	1

Приложение 3.2

Фоновое содержание элементов в верхнем слое почв, мг/кг

Элементы	Тип почвы						
	Дерново-подзолистые	Чернозёмы	Краснозёмы	Каштановые	Серозёмы	Торфяные	Почвы мира
Sn	-	-	2,5	6	14	-	10
Mn	650	330	440	800	300	1005	850
Cr	140	400	55	120	31	8	200
V	72	92	73	120	30	5	50
Zn	49	55	-	70	69	34	50
Ni	17	48	-	58	16	5	40
Cu	23	12	31	28	19	12	20
Pb	19	18	22	30	20	12	10
Co	10	0,3	-	2,9	-	8	10
Mo	1,5	2,6	-	1,7	-	1,2	2
Hg	0,13	0,1	-	-	-	0,41	-
Sb	0,76	0,99	-	-	-	0,28	-
Se	0,3	0,34	-	-	-	0,34	-
As	5	8,8	-	-	-	13,6	-
Cd	0,26	0,38	-	-	-	0,57	0,5

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон №96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (в ред. от 08.12.2020 № 429-ФЗ)
2. Приказ Минприроды РФ от 6 июня 2017 № 273 Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»
3. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» утвержденные постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2.
4. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий», утвержденные постановлением главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года №3.
5. СанПиН 1.2.2353-08 (в ред. доп. и изменений № 1, утв. Постановлением Главного гос. санитар. врача РФ от 22 декабря 2014 г. № 87 «Основные мероприятия по профилактике канцерогенной опасности»
6. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов Письмо Минприроды РФ от 29 марта 2012 № 05-12-47/4521
7. Токсикология: промышленные и экологические аспекты: учеб. пособие / В.М. Смирнова [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2019. – 241 с.
8. Токсикологическая химия: учебник под ред. проф. Вергейчика Е.Н.- Москва, МЕДпресс-информ, 2009г. , 400 с.
9. Келина Н.Ю., Безручко Н.В. Токсикология в таблицах и схемах / Н.Ю. Келина, Н.В. Безручко. — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 144 с. — (Высшее образование).