

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования "Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины"

А.Н. Переволоцкий

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-31 01 01-02 "Биология (научно-
педагогическая деятельность)"
специализации 1-31 01 01-02 04
"Физиология человека и животных"

Гомель
УО "ГГУ им. Ф. Скорины"
2012

УДК 502-047.43:502(075.8)

ББК 28.080.1я73

П 27

Рецензенты:

В. А. Собченко, доцент, канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений биологического факультета УО "Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины "

Н. В. Гордей, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем восстановления, защиты и охраны лесов ГНУ "Институт леса НАН Беларуси"

Рекомендовано к изданию на заседании научно-методического совета учреждения образования "Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины"

Переволоцкий, А.Н.

П 27 Экологическая оценка воздействий на окружающую среду: практическое руководство по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 1-31 01 01-02 "Биология (научно-педагогическая деятельность)" специализации 1-31 01 01-02 04 "Физиология человека и животных" / А.Н. Переволоцкий; М-во образования РБ, Учреждение образования Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины. – Гомель, УО ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 46 с.

Практическое руководство включает 10 занятий, посвященных изучению вопросам последствий различных воздействий на окружающую среду, включая особенности формирования и количественных оценок зависимостей "доза-эффект", закономерностям распространения загрязняющих веществ в атмосфере, почве и водной среде, внекорневому и корневому накоплению загрязнителей растениями, особенностям миграции загрязнителей по пищевым цепочкам сухопутных и водных зооценозов, а также оценке рисков загрязняющих веществ на человеческий организм.

Адресовано студентам биологического факультета.

УДК 502-047.43:502(075.8)

ББК 28.080.1я73

© Переволоцкий А.Н., 2012

© УО «ГГУ им.Ф.Скорины», 2012

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа №1 – Исследование зависимости "доза-ответная реакция" тест-объекта на загрязнение среды обитания.....	5
Лабораторная работа №2 – Прогнозирование загрязнения атмосферы при аварийных и штатных выбросах	11
Лабораторная работа № 3 – Прогнозирование загрязнения поверхностных вод.....	15
Лабораторная работа № 4 – Закономерности миграции загрязнителей в почвах	19
Лабораторная работа № 5 – Прогнозная оценка загрязнения сухопутных растений в зонах промышленных выбросов	22
Лабораторная работа № 6 – Прогнозная оценка поступления загрязнителей в организм животных и миграции по трофическим цепочкам в зонах промышленных выбросов	25
Лабораторная работа № 7 – Оценка радиационного воздействия на биоту	28
Лабораторная работа № 8 – Оценка риска для здоровья человека при загрязнении окружающей среды пороговыми токсикантами	31
Лабораторная работа № 9 – Оценка риска для здоровья человека при проживании в зоне загрязнения беспороговыми токсикантами (не радиоактивной природы)	34
Лабораторная работа № 10 – Оценка риска для здоровья человека при загрязнении радионуклидами	35
Контрольные вопросы по лабораторным работам.....	40
Список использованной литературы.....	42
Приложения	43

Введение

В настоящее время проектирование производственной деятельности не обходится без тщательной экологической оценки возможных последствий ее воздействия на окружающую среду. Важнейшими принципами проведения экологических оценок воздействий являются:

- превентивности, означающей проведение экологической оценки до принятия проектных решений о реализации планируемой деятельности и использование результатов этой оценки при выработке и принятии решений для обеспечения экологической безопасности;

- презумпции потенциальной экологической опасности воздействия любой человеческой деятельности на окружающую среду.

В соответствии с данными принципами проводятся оценки видов и интенсивности возможных воздействий при штатной и аварийной эксплуатации проектируемого производства, путей распространения в окружающей среде загрязняющих веществ, миграцию загрязнителя по пищевым цепочкам и накопление в отдельных звеньях. Особое внимание уделяется накоплению загрязнителей в продукции сельскохозяйственного производства, которая является основным звеном на пути поступления загрязняющих веществ в организм человека, а также риску для здоровья человека от потребления загрязненной продукции.

Объект изучения экологической оценки воздействия – косная и биотическая компоненты биогеоценозов.

Предмет изучения – выяснение качественных и количественных закономерностей поступления и миграции загрязняющих веществ в окружающей среде и между отдельными компонентами биогеоценозов.

Настоящее практическое руководство охватывает основные сферы экологической оценки воздействий на окружающую среду и позволяет сформировать представление о основных подходах к определению зависимости "доза-эффект", закономерностях миграции загрязнителей в окружающей среде, накоплении живыми организмами и рисках от последствий потребления загрязненной продукции человеком.

Руководство предназначено для проведения лабораторных занятий по дисциплине "Экологическая оценка воздействий на окружающую среду" для студентов биологического факультета по специальности 1-31 01 01-02 "Биология" (научно-педагогическая деятельность).

Лабораторная работа №1 – Исследование зависимости "доза-ответная реакция" тест-объекта на загрязнение среды обитания.

Цель работы – освоить методы расчета зависимости "доза-эффект" для тест-объекта на загрязнение среды обитания.

Резистентность - характеризует свойство организма противостоять отравляющему действию загрязнителя. Резистентность следует рассматривать как обычный биологический признак, для которого можно получить *точное* описание статистических свойств, так же как и для множества других показателей (размеры, вес, плодовитость и пр.).

Между временем гибели (T) и концентрацией (C) существует достаточно жесткая взаимосвязь, которую можно выразить уравнением гиперболы: *чем выше концентрация, тем быстрее погибают подопытные объекты, чем концентрация ниже, тем больше времени для этого требуется* (рисунок 1).

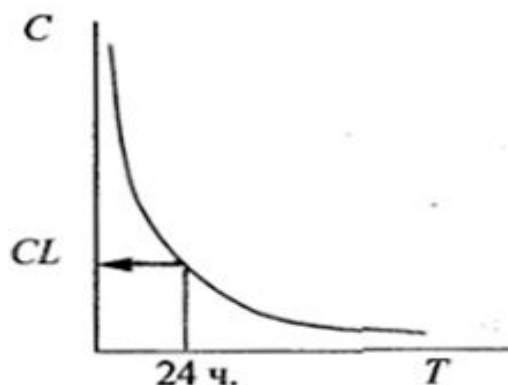


Рисунок. 1 – Зависимость между концентрацией C и временем гибели T

Распределение особей по резистентности (как для TL , так и для CL) обладает некоторой правосторонней асимметрией (увеличенной долей больших значений) и называется логнормальным, поскольку после логарифмирования значений оно преобразуется в симметричное нормальное распределение.

Средняя резистентность - концентрация загрязнителя (или период его действия), при которой гибнет 50% особей. По концентрации названа *средней смертельной концентрацией* (летальной концентрацией, *Concentratiа Letalis*, для 50% особей) и обозначается CL_{50} . *Средняя резистентность по времени* названа *средним смертельным временем* (*Tempos Letalis*, для 50% особей) и обозначается TL_{50} .

Стандартное отклонение S – характеризует варьирование значений резистентности разных особей вокруг среднегрупповой:

- небольшие величины S (менее 25% от средней) говорят о сходстве особей по устойчивости к загрязнителю и при небольших изменениях дозы вся группа может резко отреагировать - быстро погибнуть, что наблюдается для опасных веществ;

- большие значения S (свыше 50 % от средней) свидетельствуют о том, что на данное вещество разные особи реагируют по-разному и что

частичная гибель может наблюдаться в широком диапазоне концентраций (характерно для веществ со средней и низкой токсичностью).

Стандартное отклонение рассчитывают из свойств симметричного нормального распределения.

$$S = (CL_{84} - CL_{16}) / 2 \quad (1)$$

или

$$S = (CT_{84} - CT_{16}) / 2 \quad (2)$$

Ошибку среднего находят по формуле:

$$m = S / \sqrt{n} \quad (3)$$

где n – число особей у которых эффект проявился > 3%, но < 97%

Рассчитывают доверительный интервал для средней резистентности генеральной совокупности:

$$M - t \times m \leq M' \leq M + t \times m \quad (4)$$

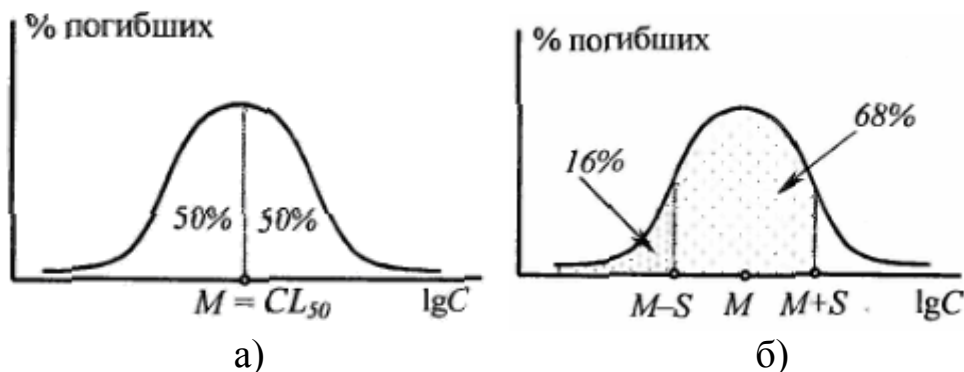


Рисунок 2 – Графическая интерпретация средней резистентности (а) и стандартного отклонения (б)

Существует несколько методов определения показателей резистентности (графо-аналитический, метод пробит-анализа, с помощью уравнений регрессии).

При графо-аналитическом методе на оси абсцисс отмечены повышающиеся "дозы" действия загрязнителя (концентрация или время), на оси ординат – накопленные доли организмов, погибших под действием каждой из доз (рисунок 4).

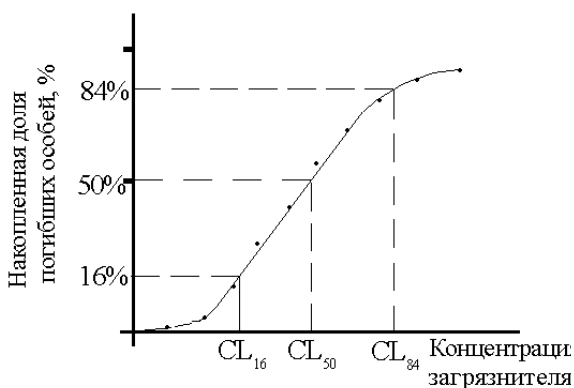


Рисунок 3 – Определение концентраций CL_{16} , CL_{50} и CL_{84}

Кривая "доза-эффект" описывает процесс постепенного увеличения общего числа погибших тест-объектов по мере увеличения действующей концентрации или времени действия загрязнителя.

По полученному графику определяют концентрации, соответствующие 16%, 50% и 84% гибели особей, а по формулам 1-4

рассчитываются показатели резистентности. Данный метод прост, нагляден, но наименее точен.

Лучшие результаты позволяет достичь **метод пробит-анализа**. Суть этого метода состоит в преобразовании кривой "доза-эффект" из S-образной в линейную.

На первом этапе проводят логарифмирование концентраций загрязнителя в каждом из вариантов опыта.

На втором этапе процент погибших особей для каждого варианта опыта преобразуют в вероятностные единицы – пробит-единицы (p) (таблица 1).

Таблица 1 – Преобразование процента гибели в пробит-единицы

%	Проценты гибели (единицы)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Проценты гибели (десятки)	0	-	-	-	3.12	3.25	3.36	3.44	3.52	3.60	3.65
	10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
	20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
	30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.62	4.64	4.67	4.70	4.72
	40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.98
	50	5.00	5.02	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
	60	5.25	5.28	5.30	5.33	5.36	5.38	5.41	5.44	5.47	5.50
	70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
	80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
	90	6.28	6.34	6.40	6.48	6.56	6.64	6.75	6.88	-	-

Примечание к использованию – при 0% гибели принимается значение пробита соответствующее 3% - 3.12, а при 100% - соответствующее 97% - 6.88.

По обработанным экспериментальным данным строится графическая зависимость $p = \lg(C)$.

По графику находят концентрации соответствующие пробит-единицам 4, 5 и 6 (соответственно, для 16%, 50% и 84% накопленных долей погибших особей). Показатели резистентности рассчитываются аналогично предыдущему методу.

Метод определения параметров резистентности с помощью **регрессионного уравнения** наиболее точен, но и более трудоемок. Данный метод включает целый ряд операций, характерных для пробит-метода: проводится преобразование кривой "доза-эффект" из S-образной в линейную путем логарифмирования концентраций загрязнителя и перевода процента гибели в пробит единицы для каждого варианта опытов, *исключая контроль*.

Для нахождения основных показателей резистентности используется прямая "доза-эффект" в виде уравнения линейной регрессии:

$$\ln(C) = b_0 + b_1 \cdot p, \quad (5)$$

где, b_0 и b_1 – некоторые коэффициенты регрессии;
 p – пробит – единицы.

Для расчета параметров b_0 и b_1 результаты исследования сводят в таблицу 2.

Таблица 2 – Пример представления результатов для обработки данных по методу регрессионного уравнения

№ опыта	Начальные данные		Трансформированные данные		Вспомогательные величины		
	C (концентрация)	d (накопленная доля погибших особей)	логарифмы концентрации $\ln(C)$	пробит-единицы	p^2	$(\ln(C))^2$	$p \cdot \ln(C)$
1	C_1	d_1	$\ln(C_1)$	p_1	p_1^2	$(\ln(C_1))^2$	$p_1 \cdot \ln(C_1)$
2	C_2	d_2	$\ln(C_2)$	p_2	p_2^2	$(\ln(C_2))^2$	$p_2 \cdot \ln(C_2)$
3	C_3	d_3	$\ln(C_3)$	p_3	p_3^2	$(\ln(C_3))^2$	$p_3 \cdot \ln(C_3)$
...
i	C_i	d_i	$\ln(C_i)$	p_i	p_i^2	$(\ln(C_i))^2$	$p_i \cdot \ln(C_i)$
Суммы значений			$\Sigma \ln(C_i)$	Σp_i	Σp_i^2	$\Sigma ((\ln(C_i))^2)$	$\Sigma (p_i \cdot \ln(C_i))$

Параметры b_0 и b_1 рассчитываются по формулам:

$$b_1 = \frac{\sum (p_i \cdot \ln(C_i)) - \sum p_i \cdot \frac{\sum \ln(C_i)}{i}}{\sum p_i^2 - \frac{(\sum p_i)^2}{i}} \quad (6)$$

$$b_0 = \frac{\sum \ln(C_i)}{i} - b_1 \cdot \frac{\sum p_i}{i} \quad (7)$$

С помощью данного уравнения можно рассчитать искомые величины CL_{16} , CL_{50} , CL_{84} (соответствующие значениям $p=4, 5, 6$).

Например, подставляя в (5) значение $p = 4$, получим $\ln(CL_{16})$:

$$\ln(CL_{16}) = b_0 + b_1 \cdot 4, \text{ следовательно } CL_{16} = e^{(b_0 + b_1 \cdot 4)}$$

Далее рассчитываются CL_{50} и CL_{84} , стандартное отклонение, ошибка средней летальной концентрации и доверительный интервал.

Задание для выполнения лабораторной работы.

1. Используя данные о смертности особей (таблица 3) через 10 суток после воздействия загрязнителя в различных дозах, графо-аналитическим, пробит-методом и с помощью регрессионного уравнения определить параметры резистентности по величине концентрации.

Таблица 3 – Исходные данные для выполнения задания

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4		Вариант 5	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
50	0	100	0	50	0	50	0	50	0
100	7	150	10	100	7	100	10	100	5
150	21	200	24	150	21	150	24	150	19
200	42	250	45	200	42	200	45	200	40
300	62	350	65	300	62	300	65	300	60
350	79	400	82	350	79	350	82	350	77
450	92	500	95	450	92	450	95	450	90
500	94	550	97	500	94	500	97	500	97
Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8		Вариант 9		Вариант 10	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
5	0	10	0	10	0	100	0	1	0
10	7	20	10	20	7	200	10	2	5
15	21	30	24	30	21	300	24	3	19
20	42	40	45	40	42	400	45	4	40
30	62	60	65	60	62	600	65	6	60
35	79	70	82	70	79	700	82	7	77
45	92	90	95	90	92	900	95	9	90
50	94	100	97	100	94	1000	97	10	97
Вариант 11		Вариант 12		Вариант 13		Вариант 14		Вариант 15	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
50	0	100	0	50	0	50	0	50	0
100	10	150	7	100	10	100	7	100	5
150	24	200	21	150	24	150	21	150	19
200	45	250	42	200	45	200	42	200	40
300	65	350	62	300	65	300	62	300	60
350	82	400	79	350	82	350	79	350	76
450	95	500	92	450	95	450	92	450	89
500	97	550	94	500	97	500	94	500	93
Вариант 16		Вариант 17		Вариант 18		Вариант 19		Вариант 20	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
5	0	10	0	10	0	100	0	1	0
10	10	20	7	20	5	200	7	2	7
15	24	30	21	30	19	300	25	3	21
20	45	40	42	40	40	400	45	4	42
30	65	60	62	60	60	600	65	6	62
35	82	70	79	70	77	700	82	7	79
45	95	90	92	90	90	900	90	9	92
50	97	100	94	100	97	1000	95	10	94

Примечание: 1 – концентрация загрязнителя, мг/кг; 2 – смертность, %

2. Используя данные о смертности особей (таблица 4) после воздействия загрязнителя в дозе 500 мг/кг через различное время после воздействия, графо-аналитическим, пробит-методом и с помощью регрессионного уравнения определить параметры резистентности исследованного вида по времени.

Таблица 4 - Исходные данные для выполнения задания

Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4		Вариант 5	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
1000	0	2000	0	500	0	100	0	200	0
1500	5	2500	5	1000	5	150	5	300	5
2000	21	3000	21	1500	21	200	21	400	21
3000	62	4000	62	2500	62	300	62	600	62
3500	79	4500	79	3000	79	350	79	700	79
4000	88	5000	88	3500	88	400	88	800	88
4500	90	5500	90	4000	90	450	90	900	90
Вариант 6		Вариант 7		Вариант 8		Вариант 9		Вариант 10	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
1000	0	2000	0	500	0	100	0	200	0
1500	7	2500	6	1000	5	150	6	300	7
2000	23	3000	22	1500	21	200	22	400	23
3000	64	4000	63	2500	65	300	62	600	64
3500	81	4500	80	3000	84	350	79	700	79
4000	90	5000	89	3500	91	400	95	800	88
4500	92	5500	91	4000	97	450	97	900	90
Вариант 11		Вариант 12		Вариант 13		Вариант 14		Вариант 15	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
1000	0	2000	0	500	0	100	0	200	0
1500	6	2500	7	1000	6	150	5	300	7
2000	22	3000	23	1500	22	200	21	400	23
3000	63	4000	64	2500	62	300	65	600	64
3500	80	4500	81	3000	79	350	84	700	79
4000	89	5000	90	3500	95	400	91	800	88
4500	91	5500	92	4000	97	450	97	900	90
Вариант 16		Вариант 17		Вариант 18		Вариант 19		Вариант 20	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0	контроль	0
1000	0	2000	0	500	0	100	0	200	0
1500	5	2500	5	1000	5	150	5	300	5
2000	21	3000	21	1500	21	200	21	400	21
3000	62	4000	62	2500	62	300	62	600	62
3500	79	4500	79	3000	79	350	79	700	79
4000	88	5000	88	3500	88	400	88	800	88
4500	90	5500	90	4000	90	450	90	900	90

Примечание: 1 – продолжительность жизни, мг/кг; 2 – смертность, %

Лабораторная работа №2 – Прогнозирование загрязнения атмосферы при аварийных и штатных выбросах

Цель работы – освоить методы моделирования загрязнения атмосферы при аварийных и штатных выбросах.

Атмосферный перенос определяет наиболее быстрое перемещение низких концентраций загрязняющих веществ в локальном, региональном и даже глобальном масштабах по сравнению с водным, почвенным и биогенным. Поэтому при разработке экологических оценок воздействия на окружающую среду всех производств, связанных с загрязнением атмосферы (прежде всего, ядерного топливного цикла и энергетики, химических, переработки нефти и газа), всегда рассматриваются ситуации, связанные с выбросом загрязняющих веществ.

Моделирование загрязнения атмосферы и распространения выброса позволяет оценить содержание загрязнителя в атмосфере и возможное воздействие на животных и людей, уровень загрязнения почвы, хозяйственно-ценных растений при переходе в них загрязняющего вещества по внекорневому и корневому пути поступления, а также миграцию загрязнителя по пищевым цепочкам различных биогеоценозов.

Наиболее часто для таких целей применяют *гауссовы модели переноса загрязняющих веществ атмосфере*. Они разработаны на основании

статистических закономерностей распределения загрязняющих веществ (рисунок 4). Гауссовы модели используются для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха в течение небольших промежутков времени (не более 1 суток), в пределах которых свойства атмосферы можно считать постоянными.

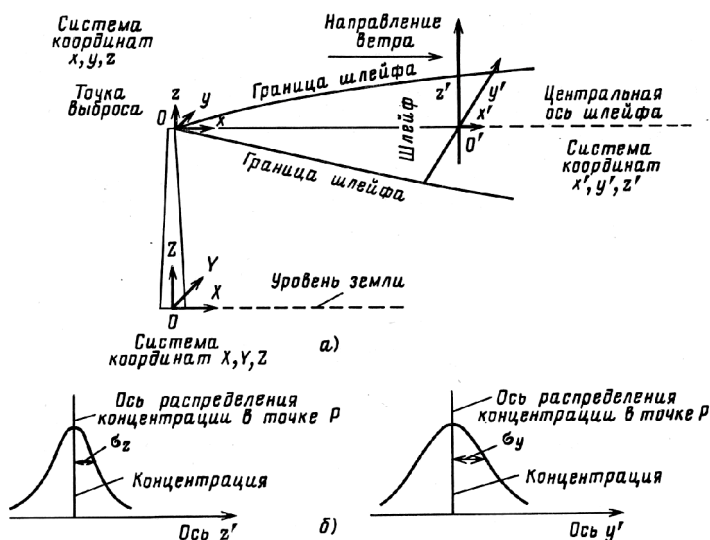


Рисунок 5 – Система координат (а) и параметров стандартных отклонений шлейфа выброса (б)

Гауссова модель распространения загрязнителя в атмосфере предполагает его осаждение по направлению движения ветра под действием сил тяжести, а в поперечном и вертикальном направлении – согласно закону нормального распределения по кривой Гаусса. Облако выброса с погрешностью не более 10% имитируется в

форме шлейфа с равномерно распределенной объемной концентрацией загрязняющего вещества A_v' , $\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$ (в случае радионуклидов – объемной активностью) для той или иной категории устойчивости атмосферы.

Под категорией устойчивости атмосферы понимают характерные для территории над которой происходит распространения выброса погодных условий (распределение температур воздуха по высоте и направления движения ветра), определяющих интенсивность турбулентности в атмосфере и, как следствие, условия рассеяния выбрасываемых веществ.

Наиболее широкое распространение получила схема классификации категории устойчивости Пасквилла, согласно которой используется шесть категорий, распределенных по возрастанию степени устойчивости атмосферы от A (наиболее неустойчивого) до F (максимально устойчивого) (приложение А.1). Наиболее вероятное состояние атмосферы – D – нейтральное или близкое к таковому. С помощью Гауссовых моделей рассчитываются два важнейших показателя.

Объемная интегральная концентрация загрязнителя A_v ($\text{г}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-3}$ в случае радионуклидов - объемная активность, $\text{Бк}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-3}$) для точки с координатами (x,y,z) :

$$A_v = Q \cdot G, \quad (8)$$

где Q – интегральный выброс, (г или Бк);

G – фактор метеорологического разбавления, $\text{с}\cdot\text{м}^{-3}$.

Средняя объемная активность загрязнителя ($\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$ или $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$) за время существования облака выброса t :

$$A_v' = A_v / t, \quad (9)$$

где t – время выброса, с.

При оценках максимально возможного уровня осаждения загрязнителя на оси следа выпадений ($y=0$) в приземном слое воздуха ($z=0$), фактор метеорологического разбавления $G(x,y,z)$ будет равен:

$$G(x,y,z) = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x) \cdot u} \cdot e^{\left[-\frac{h^2}{2\sigma_z(x)} \right]} \cdot f_d(x) \cdot f_{dep}(x), \quad (10)$$

где, x, y, z – Эйлеровы координаты точки (рисунок 4), м;

u - скорость ветра, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$;

h - высота выброса над землей, м;

σ_z, σ_y - стандартное отклонение распределения примеси в облаке выброса в направлении соответствующих координатных осей, м;

f_d, f_{dep} – поправки на химическое или физическое разрушение загрязнителя и осаждение его из атмосферы.

Поперечная дисперсия $\sigma_y(x)$:

$$\sigma_y(x) = c_3 \cdot x \cdot (\sqrt{1 + 0,0001 \cdot x})^{-1}, \quad (11)$$

где z_0 – аэродинамическая шероховатость поверхности, см;

c_3 – численный коэффициент.

Вертикальная дисперсия $\sigma_z(x)$:

$$\sigma_z(x) = f(z_0, x) \cdot g(x), \quad (12)$$

Функции $g(x)$ и $f(z_0, x)$ рассчитывают по формулам:

$$g(x) = a_1 \cdot x^{b_1} \cdot (1 + a_2 \cdot x^{b_2})^{-1}, \quad (13)$$

$$f(z_0, x) = \begin{cases} \ln[c_1 \cdot x^{d_1} \cdot (1 + (c_2 \cdot x^{d_2})^{-1})] & \text{при } z_0 > 10 \text{ см;} \\ \ln[c_1 \cdot x^{d_1} \cdot (1 + c_2 \cdot x^{d_2})^{-1}] & \text{при } z_0 \leq 10 \text{ см} \end{cases}, \quad (14)$$

где $c_1, d_1, c_2, d_2, a_1, b_1, a_2, b_2$ – численные коэффициенты, зависящие от категории устойчивости атмосферы и шероховатости поверхности, приведены в приложениях А.3 и А.4.

Поправка на химическое или физическое разрушение загрязнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$f_d(x) = e^{(-\lambda \cdot x / u)} \quad (15)$$

где λ – постоянная химического или физического распада, с^{-1} .

Если вещество не распадается или время его распада значительно больше времени эксперимента, то λ принимается равной 0. Отметим, что x / u – это время движения облака к точке с удалением x от места выброса.

Поправка на гравитационное осаждение рассчитывается следующим образом:

$$f_{dep}(x) = \exp \left[-\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{v_g}{u} \int_0^x \left(\frac{1}{\sigma_z(x) \cdot \exp(0.5 \cdot h^2 \cdot \sigma_z^{-2}(x))} \right) dx \right], \quad (16)$$

где

v_g – скорость гравитационного осаждения, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Плотность осаждения загрязнителя на поверхность почвы ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$) может быть описана следующей зависимостью:

$$A_s = Q \cdot (v_g \cdot G), \quad (17)$$

Задание на выполнение лабораторной работы.

Рассчитать объемную концентрацию, объемную интегральную концентрацию загрязнителя в приземном слое воздуха, плотность загрязнения почвы ($z = 0$ м) на оси следа ($y = 0$ м) при выбросе вследствие максимальной проектной аварии. Исходные данные взять из таблицы 5.

Описать выполнение работы для $x = 100$ м. Результаты расчетов представить в таблице 6.

В выводах отразить характер изменения концентрации загрязнителя и плотности загрязнения в зависимости от расстояния до источника выброса.

Таблица 5 – Варианты заданий на выполнение лабораторной работы

Исходные данные	Варианты задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загрязнитель	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	Cd	Hg	Cd	Hg
Q	3e+12	1e+13	1e+12	2e+14	4e+12	1e+14	5e+2	5e+2	5e+2	5e+2
t , с	3600	3600	3600	3600	3600	2400	2400	2400	2400	2400
u , м·с ⁻¹	1	1.5	2	1	1.5	2	1	1.5	2	3
h , м	30	40	30	30	40	30	30	40	30	50
категория атмосферы	A	A	A	D	D	D	F	F	F	F
z_0 , см	40	100	400	40	100	400	40	100	400	400
λ , с ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_g , м·с ⁻¹	0.01	0.005	0.001	0.01	0.005	0.001	0.01	0.005	0.001	0.001
Исходные данные	Варианты задания									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Загрязнитель	As	As	Pb	Pb	Zn	Zn	Бенз(а)пирен	Диоксин		
Q	5e+3	4e+3	1.5e+4	3e+4	5e+3	1e+4	4e-3	5e-3	2e-6	4e-6
t , с	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
u , м·с ⁻¹	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2
h , м	30	30	30	10	20	40	30	30	20	40
категория атмосферы	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
z_0 , см	100	100	100	100	100	100	40	400	40	40
λ , с ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_g , м·с ⁻¹	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001

Примечание : величина выброса Q для радиоактивных изотопов приведена в Бк, для тяжелых металлов и химических загрязнителей – в граммах.

Таблица 6 – Результаты расчетов по моделированию загрязнения атмосферы

x , м	$\sigma_y(x)$	$g(x)$	$f(z_0, x)$	$\sigma_z(x)$	$f_{oc}(x)$	A_v	A_v'	A_s

Лабораторная работа № 3 - Прогнозирование загрязнения поверхностных вод

Цель работы – изучить методы моделирования загрязнения поверхностных вод при штатных и аварийных выбросах предприятий

Поверхностные воды являются важным фактором в миграции загрязнителей к человеку. При этом основными путями воздействия на здоровье человека является использование питьевой воды и гидробионтов.

Распределение загрязнителей в водоеме определяется целым комплексом факторов, в основе которых следует рассматривать физико-химические свойства самого загрязняющего вещества. В наиболее общем случае, загрязняющие вещества, поступившие в водоем, сорбируются взвесями и гидробионтами и перемещаются с водным потоком, при этом происходит их седиментация в донные отложения и обратное растворение с последующей водной миграцией.

Загрязнители в водные экосистемы могут поступать по нескольким путям, от которых зависит их дальнейшее перераспределение между компонентами:

1. Поступление с почвенной влагой.
2. Поступление загрязнителей из атмосферы.
3. Целенаправленный сброс сточных вод при работе предприятий в штатном и аварийном режиме.

По характеру распределения между компонентами водной среды загрязнители отчетливо разделяются на четыре группы:

- в первую группу входят S, Cr и Ge, более чем на 70% остающиеся в воде - это группа "гидротропов";
- во вторую – "эвритропов" – образуют Co, Rb, Sr, Ru и I, распределяющиеся по компонентам системы достаточно равномерно;
- в третью – "педотропы" – состоит из Fe, Zn, Y, Zr, Nb и Cs, сильно накапливающихся в грунте более чем 50%;
- в четвертую "биотропов" входят P, Cd, Se, Hg более чем на 50% накапливающихся в биомассе.

Наиболее типичная ситуация связанная с загрязнение объектов гидросферы имеет место при сбросе сточных вод в реку. Загрязнение водоем рассчитывают вдоль русла реки по формуле:

$$C_{\max}(x) = \frac{\gamma \cdot Q_{\phi} \cdot C_{\phi} + Q_{зв} \cdot C_{зв}}{\gamma \cdot Q_{\phi} + Q_{зв}} \cdot e^{\frac{-\lambda \cdot x}{v_{cp}}}, \quad (18)$$

где $C_{\max}(x)$ – максимально возможная концентрация загрязняющего вещества на расстоянии x от точки сброса, $г \cdot м^{-3}$;

Q_{ϕ} – расход воды в фоновом створе реки перед точкой сброса, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;
 $Q_{зв}$ – расход воды в трубе, сбрасывающей сточные воды, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;
 C_{ϕ} – фоновая концентрация загрязняющего вещества, измеряемая в фоновом створе, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$;
 $C_{зв}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$;
 λ – постоянная самоочищения водного потока, с^{-1} ;
 v_{cp} – средняя скорость течения реки на рассматриваемом участке.

При радиоактивных выбросах вместо массы загрязнителя применяют величины активности (Бк).

Фактически x/v_{cp} – это время в течение которого загрязняющие вещества доходят до точки на расстоянии x от места сброса.

Коэффициент γ отражает часть воды в реке, которая участвует в разбавлении сточных вод (γ называют коэффициентом смешения).

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{x}}}{1 + \frac{Q_{\phi}}{Q_{зв}} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{x}}}, \quad (19)$$

где α – множитель, учитывающий гидравлические условия смешения, который определяется по формуле:

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{зв}}}, \quad (20)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от местоположения выпуска ($\xi = 1$ при выпуске у берега; $\xi = 1,5$ при выпуске на фарватере);

φ – коэффициент извилистости русла (определяется как отношение расстояния от места выпуска сточных вод до расчетного створа по фарватеру к расстоянию между этими пунктами по прямой), м;

D – коэффициент турбулентной диффузии, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

$$D = \frac{g \cdot h_{cp} \cdot v_{cp}}{C' \cdot (0,7 \cdot C' + 6)} \quad \text{для } 10 \leq C' \leq 60, \quad (21)$$

$$D = \frac{g \cdot h_{cp} \cdot v_{cp}}{48 \cdot C'} \quad \text{для } C' > 60 \quad (22)$$

где $g = 9,81$ – ускорение силы тяжести $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;

C' – коэффициент гидравлического сопротивления русла, $\text{м}^{1/2} \cdot \text{с}^{-1}$:

$$C' = \frac{v_{cp}}{\sqrt{h_{cp} \cdot I}}, \quad (23)$$

где, I – уклон водной поверхности на рассматриваемом участке: отношение перепада высот в метрах на 1000 метров длины;

h_{cp} – средняя глубина реки (м), $h_{cp} = 1,5$ м.

Полученные формулы дают возможность определить концентрацию в максимально загрязненной струе на расстоянии X от точки сброса. Если на рассматриваемом участке находится пункт водопользования, например водозабор или пляж, то в створе этого пункта необходимо выполнение условия

$$C_x^{\max} \leq \text{ПДК}, \quad (24)$$

где ПДК – предельно допустимая концентрация (таблица 7).

Подставляя вместо $\max C_x$ величину ПДК и решая уравнения относительно $C_{зв}$, можно определить, какова допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах. Это позволяет подобрать необходимые способы очистки сточных вод, обеспечивающие допустимую концентрацию в сбросе.

$$C_{зв}^{\max} = \text{ПДК} + (\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot \gamma \cdot \frac{Q_{\phi}}{Q_{зв}} \quad (25)$$

Данные расчеты являются исходными для оценки загрязнения вод реки и гидробионтов для оценки их безопасного использования человеком.

Расчет концентрации загрязнения в гидробионтах C_2 ($\text{г} \cdot \text{кг}^{-1}$) проводится с помощью эмпирически определенных коэффициентов накопления K_n относительно концентрации загрязнителя в воде C ($\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$):

$$C_2 = K_n \cdot C \quad (26)$$

Таблица 7 – ПДК для отдельных загрязнителей в воде и гидробионтах

Показатель	Загрязнитель								
	^{137}Cs	^{90}Sr	Cd	Hg	As	Pb	Zn	Бенз(а)пирен	Диоксин
ПДК вода	10	0.37	1e-6	5e-7	5e-5	3e-5	5e-3	5e-9	2e-11
ПДК гидроб	370	3.7	5e-5	5e-5	1e-3	1e-3	4e-2	1e-6	1e-8

Задание на выполнение лабораторной работы.

1) Рассчитать объемную активность и максимально возможную концентрацию загрязнителя в воде реки на расстоянии 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000 и 15000 м от источника загрязнения. Исходные данные для своего варианта задания взять из таблицы 8.

Описать выполнение работы для $x=100$ м. Определить расстояние, начиная с которого концентрация прогнозируется ниже ПДК.

Таблица 8 – Исходные данные для выполнения задания

	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>B-во</i>	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	Cd	Cd	Hg	Hg
<i>Q_ф</i>	12	5	4	5	5	7	12	10	12	10
<i>Q_{зб}</i>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.1	0.05	0.15
<i>C_ф</i>	5e-5	5e-5	5e-5	5e-5	5e-5	5e-5	1e-3	1e-3	1e-4	1e-4
<i>C_{зб}</i>	1e+4	1e+5	5e+4	1e+6	1e+6	5e+5	5e-1	5e-1	5e-2	5e-2
λ	1e-5	1e-5	1e-5	1e-4	5e-5	1e-5	1e-5	1e-5	5e-5	5e-5
<i>v_{ср}</i>	0.4	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
φ	1.8	1.3	1.2	1.3	1.2	1.5	1.4	1.3	1.6	1.3
<i>I</i>	7e-5	2e-5	2e-5	2e-5	1e-5	4e-5	2e-5	1e-5	2e-5	5e-5
	Варианты заданий									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>B-во</i>	As	As	Pb	Pb	Zn	Zn	Бенз(а)пирен	Диоксин		
<i>Q_ф</i>	10	6	8	12	12	10	10	12	10	12
<i>Q_{зб}</i>	0.05	0.02	0.05	0.1	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>C_ф</i>	1e-3	1e-3	1e-4	1e-4	5e-3	5e-3	1e-9	1e-9	1e-14	1e-14
<i>C_{зб}</i>	1e+1	1e+1	1e+1	1e+1	2e+1	2e+1	2e-3	2e-3	1e-5	1e-5
λ	1e-5	1e-5	1e-5	1e-5	1e-5	1e-5	1e-4	1e-4	1e-4	1e-4
<i>v_{ср}</i>	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
φ	1.1	1.3	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.5	1.8
<i>I</i>	2e-5	2e-5	2e-5	1e-5	5e-5	2e-5	2e-5	2e-5	2e-5	2e-5

2) Исходя из рассчитанных объемных концентраций загрязнителя рассчитать загрязнение гидробионтов, коэффициенты накопления приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные для выполнения задания

Показатель	Загрязнитель								
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Cd	Hg	As	Pb	Zn	Бенз(а)пирен	Диоксин
Перифитон	1000	800	700	1000	400	150	1200	80	50
Плотва	220	1500	800	1500	300	200	1600	150	70
Окунь	550	3500	1200	2200	400	300	2200	200	100
Щука	1100	5000	2000	3000	600	500	3800	250	130

Лабораторная работа № 4 – Закономерности миграции загрязнителей в почвах

Цель работы – изучить общую схему поведения и основные закономерности миграции загрязнителей в почвах

Миграцией загрязнителя в почвах называется процесс их пространственно-временного перемещения, приводящий к изменению концентрации в отдельных почвенных слоях.

Исследования миграции загрязняющих веществ в вертикальном профиле почвы проводят для определения загрязнения корнеобитаемых почвенных слоев (данная информация является исходной для оценки накопления загрязнителей растениями), а также для оценки вероятности достижения ими грунтовых вод.

Исходной информацией по миграции загрязняющих веществ в почвах служит показатель концентрации (удельной активности) загрязнителя по почвенным слоям. Для отбора проб почвы используются специальные трубчатые пробоотборники. Полученные почвенный керн делят на отдельные почвенные слои для каждого из которых и определяют величину концентрации загрязнителя.

Далее рассчитывают активность в относительных единицах для каждого слоя почвы по следующей формуле:

$$q_i = \frac{C_i \times m_i}{\sum_{i=1}^n (C_i \times m_i)}, \quad (27)$$

где q_i – запас загрязнителя для i -го слоя почвы, отн. ед.;

C_i – концентрация загрязнителя в i -м слое почвы, г (Бк)·кг⁻¹;

m_i – масса i -го слоя почвы, кг;

n – число почвенных слоев.

Одним из распространенных подходов к описанию миграции радионуклидов в вертикальном профиле почвы является применение уравнения диффузии Фика, решением которого является следующая зависимость активности q от времени t и координаты по оси y :

$$q(y, t) = \frac{A \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{\sqrt{\pi D t}} \cdot e^{\left(-\frac{y^2}{4 D t} \right)}, \quad (28)$$

где y – расстояние по нормали к плоскости раздела слоев, см;

q – масса загрязнителя на глубине y , отн. ед.;

A – суммарный запас загрязнителя в профиле почвы, отн. ед.;

t – время с момента начала миграции, с;

D – коэффициент диффузии, см²·с⁻¹;

λ – постоянная распада или трансформации загрязнителя, c^{-1}

Для нахождения коэффициента диффузии проводится ряд последовательных математических преобразований. Прежде всего, выполняется логарифмирование уравнения (28) – находится натуральный логарифм от его обеих частей и уравнение приобретает следующий вид:

$$\ln[q(y,t)] = \ln\left(\frac{Q \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{\sqrt{\pi Dt}}\right) + \left(-\frac{y^2}{4Dt}\right) \quad (29)$$

Далее производится замена параметров:

$$a = \ln\left(\frac{A \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{\sqrt{\pi Dt}}\right), \quad (30)$$

$$b = \frac{1}{4Dt} \quad (31)$$

и замена переменных на $z = \ln[q(y,t)]$, $x = y^2$, что приводит к преобразованию уравнения (28) к линейному виду

$$z = a - bx \quad (32)$$

Расчет параметров a и b осуществляются по следующим формулам:

$$b = \frac{\sum(x \cdot z) - \sum x \cdot \frac{\sum z}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (34)$$

$$a = \frac{\sum z}{n} - b \cdot \frac{\sum x}{n} \quad (35)$$

Для того, чтобы облегчить проведение расчетов, целесообразно свести промежуточные данные в таблицу 10.

Таблица 10 – Промежуточные данные для расчета распределения активности в вертикальном профиле почвы и нахождения параметров a и b

Номер слоя, i	Глубина отбора образца y_i , см	Масса образца m_i , кг	Концентрация, C_i , г·кг ⁻¹	Концентрация почвенного образца $C_i \times m_i$		Вспомогательные величины для расчета a и b			
				масса загрязнителя	запас	$x_i = y_i^2$	$z_i = \ln(q_i)$	x_i^2	$x_i \times z_i$
1	y_1	m_1	C_1	$C_1 \times m_1$	q_1	x_1	z_1	x_1^2	$x_1 \times z_1$
2	y_2	m_2	C_2	$C_2 \times m_2$	q_2	x_2	z_2	x_2^2	$x_2 \times z_2$
...
n	y_n	m_n	C_n	$C_n \times m_n$	q_n	x_n	z_n	x_n^2	$x_n \times z_n$
Суммы				$\Sigma(C_i \times m_i)$	-	Σx_i	Σz_i	Σx_i^2	$\Sigma (x_i \times z_i)$

Исходя из рассчитанных параметров a и b определяется коэффициент диффузии D .

С применением коэффициента диффузии согласно уравнению (29) рассчитывают прогнозные концентрации загрязнителя в вертикальном профиле почвы для произвольных моментов времени $t_1, t_2 \dots t_n$.

Задание для выполнения лабораторной работы:

Приведено распределение концентрации загрязнителей в вертикальном профиле почвы (таблица 11) для момента времени $t=10$ лет с момента радиоактивных выпадений.

Необходимо определить :

- распределение концентрации в вертикальном профиле почвы в относительных единицах q_i ;
- параметры a, b, c с их помощью рассчитать коэффициент диффузии D ;
- с применение рассчитанного коэффициента диффузии D и уравнения (28) рассчитать прогнозные запасы q_i в вертикальном профиле почвы.

Таблица 11 – Варианты задания

Номер слоя, i	Глубина отбора образца y_i , см	Масса образца, m_i , кг	Варианты								
			Концентрации загрязнителя почвенного образца C_i , г (Бк)·кг ⁻¹								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радионуклид			⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs	Cd	Cd	Cd
Период полураспада, лет			28.1	28.1	28.1	30.1	30.1	30.1	-	-	-
1	1.5	0.06	2440	2440	2000	1880	5650	6700	4.0e-3	5.0e-3	5.0e-3
2	3.5	0.1	990	990	890	500	1120	510	2.0e-3	2.5e-3	2.8e-3
3	4.5	0.11	540	660	720	230	211	112	1.2e-3	2.0e-3	2.0e-3
4	5.5	0.12	320	450	410	133	75	52	7.0e-4	1.5e-3	1.6e-3
5	6.5	0.13	180	300	330	75	23	18	4.0e-4	1.0e-3	1.2e-3
6	7.5	0.14	120	180	140	23	5	3	2.0e-4	7.0e-4	1.0e-3
7	8.5	0.15	65	100	130	12	1	0.2	1.0e-4	5.0e-4	7.0e-4

Номер слоя, i	Глубина отбора образца y_i , см	Масса образца, m_i , кг	Варианты								
			Концентрации загрязнителя почвенного образца C_i , г (Бк)·кг ⁻¹								
			10	11	12	13	14	15	16	17	18
Радионуклид			Hg	Hg	Hg	As	As	Pb	Pb	Zn	Zn
Период полураспада, лет			-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1.5	0.06	8.0e-7	7.0e-7	4.0e-7	3.0e-2	2.8e-2	4.5e-2	3.4e-2	0.6	0.45
2	3.5	0.1	3.7e-7	4.0e-7	2.2e-7	1.4e-2	1.5e-2	2.2e-2	1.8e-2	0.3	0.26
3	4.5	0.11	3.0e-7	3.0e-7	2.0e-7	1.1e-2	1.0e-2	1.4e-2	1.4e-2	0.2	0.2
4	5.5	0.12	2.2e-7	2.2e-7	1.7e-7	1.0e-2	7.0e-3	1.1e-2	1.1e-2	0.13	0.16
5	6.5	0.13	1.4e-7	1.7e-7	1.4e-7	7.0e-3	5.0e-3	7.0e-3	8.0e-3	0.1	0.12
6	7.5	0.14	1.0e-7	1.2e-7	1.0e-7	4.0e-3	3.5e-3	4.0e-3	6.0e-3	0.07	0.09
7	8.5	0.15	7.0e-8	9.0e-8	9.0e-8	3.4e-3	2.0e-3	3.0e-3	4.0e-3	0.05	0.07

Лабораторная работа № 5 – Прогнозная оценка загрязнения сухопутных растений в зонах промышленных выбросов

Цель работы – изучить методы прогнозной оценки загрязнения растений при осаждении загрязняющих веществ на их поверхность из атмосферы и при поступлении по корневому пути.

Внекорневое (поверхностное) загрязнение растений.

Способность растений задерживать вещества, выпадающие из атмосферы, характеризуется коэффициентом первоначального задерживания $K_{пз}$, который представляет долю выпавшего на единицу площади загрязнителя, задержанную растениями:

$$K_{пз} = \frac{m (\Gamma \cdot \text{м}^{-2})}{M (\Gamma \cdot \text{м}^{-2})}, \quad (36)$$

где m – масса загрязнителя задержанного растениями, произрастающими на площади 1 м^2 ;

M – масса загрязнителя поступившего на поверхность площадью 1 м^2 .

Снижение удельной активности в растениях определяется их **разбавлением** в растительности за счет прироста биомассы и **прямыми потерями** вследствие удаления частиц ветром и атмосферными осадками.

Наиболее часто просчитывают **два варианта поступления** загрязнителей для растений при аэральном выпадении:

- **одноразовые выпадения** вследствие аварийных выбросов.

Динамика концентрации загрязнителя в растениях в данном случае аппроксимируется следующей зависимостью:

$$C_t = \frac{A_s}{m} K_{пз} \cdot e^{(-\lambda_{эфф} \cdot t)}, \quad (37)$$

где C_t – концентрация загрязнителя в растительности, $\Gamma \cdot \text{кг}^{-1}$ или $\text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$;

A_s – плотность выпадений, $\Gamma \cdot \text{м}^{-2}$ или $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2}$;

m – биомасса на единице поверхности почвы, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$;

t – время, прошедшее с момента выпадений, сут.

$\lambda_{эфф}$ – эффективная постоянная потеря (функция от $T_{эфф}$, $\lambda_{эфф} = \ln(2)/T_{эфф}$), сут^{-1} .

- **постоянные выпадения** загрязнителя, источником которых служат штатные выбросы предприятий. Динамика концентрации в растениях при осаждении на почву с постоянной скоростью $A_s = \text{const}$ за время T описывается формулой:

$$UA_T = \frac{A_s}{m} K_{пз} \cdot \frac{1 - e^{(-\lambda_{эфф} \cdot T)}}{\lambda_{эфф}}, \quad (38)$$

где C_T — концентрация загрязнителя в растительности в момент времени T от начала непрерывных выпадений, $г \cdot кг^{-1}$;
 A_s — интенсивность поступления загрязнителя $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$.

Корневое загрязнение растений. Определяется поступлением в растение загрязнителя по корневому пути. Для количественного описания накопления загрязнителя растениями относительно содержания в почве применяются специальные показатели — коэффициент накопления (отношение концентрации загрязнителя в растении к его концентрации в почве) и коэффициент перехода (отношение концентрации загрязнителя в растении к плотности загрязнения им почвы).

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Рассчитать удельную активность в виде сельскохозяйственной продукции после аварийного поступления загрязнителя при поверхностном загрязнении растений через 1, 10 и 30 суток. Исходные данные взять из таблицы 12.

Таблица 12 - Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Продукция	Зерно	Картоф	Салаты	Зерно	Картоф.	Салаты	Зерно
Загрязнитель	^{90}Sr	^{90}Sr	^{90}Sr	^{137}Cs	^{137}Cs	^{137}Cs	Cd
Норматив	100	100	100	1000	1000	1000	$7e-5$
Кпз	0.01	0.01	0.7	0.05	0.05	0.7	0.01
$m, кг \cdot м^{-2}$	0.3	2.5	0.7	0.3	2.5	0.7	0.3
Кп, $м^2 \cdot кг^{-1}$	$3.1 \cdot 10^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$7.0 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	Варианты						
	8	9	10	11	12	13	14
Продукция	Картоф	Зерно	Салаты	Зерно	Картоф.	Салаты	Зерно
Загрязнитель	Cd	Hg	Hg	As	As	Pb	Pb
Норматив	$3e-5$	$1e-5$	$2e-5$	$1.5e-4$	$2e-4$	$5e-4$	$5e-4$
Кпз	0.01	0.01	0.7	0.05	0.05	0.7	0.01
$m, кг \cdot м^{-2}$	2.5	0.3	0.7	0.3	2.5	0.7	0.3
Кп, $м^2 \cdot кг^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
	Варианты						
	15	16	17	18	19	20	
Продукция	Зерно	Картоф.	Зерно	Картоф.	Зерно	Картоф.	
Загрязнитель	Zn	Zn	Бенз(а)пирен		Диоксины		
Норматив	$3.5e-2$	$1e-2$	$1e-6$	$1e-6$	$1e-12$	$1e-12$	
Кпз	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
$m, кг \cdot м^{-2}$	0.3	2.5	0.3	2.5	0.3	2.5	
Кп, $м^2 \cdot кг^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$	

Лабораторная работа № 6 – Прогнозная оценка поступления загрязнителей в организм животных и миграции по трофическим цепочкам в зонах промышленных выбросов

Цель работы – изучить методы прогнозной оценки поступления загрязнителей в организм животных и миграции по трофическим цепочкам экосистем в зонах промышленных выбросов

В организм животных различные вещества могут поступать по следующим трем неравнозначным путям: алиментарном, ингаляционному и через поверхность кожи. Для большинства загрязнителей соотношение путей поступления у сухопутных животных примерно составляет: алиментарное (1) – ингаляционное (0.01-0.1) – кожное – 10^{-6} - 10^{-4} . Для водных животных алиментарный и кожный путь поступления может быть равнозначным.

Для прогнозирования содержания загрязнителей в организме животных используют эмпирически определяемые параметры.

При разовом поступлении загрязнителей в организм применяются коэффициенты всасывания. Их использование основано на том факте, что скорость поступления в органы и ткани намного превышает скорость выведения и с приемлемой для целей прогнозов точностью допустить мгновенное установление равновесия в распределении загрязняющего вещества между содержимым ЖКТ и органами. Тогда начальная концентрация C_0 в органе или ткани массой M после поступления известного количества радионуклида A может быть определена как

$$C_0 = \frac{Q \cdot f_1 \cdot f_2}{M}, \quad (39)$$

где f_1 – коэффициент всасывания радионуклида в кровь,

f_2 – коэффициент всасывания в орган или ткань на 1 кг массы.

При хроническом поступлении загрязнителей в организме животных используют эмпирически определяемые параметры:

- коэффициент накопления или коэффициент концентрирования (Кн), отношение концентраций загрязнителя в органе и рационе (предыдущем звене пищевой цепочки);

- коэффициент перехода Кп или Transfer Factor. Он отражает долю загрязнителя, перешедшей в орган или ткань животного от содержания в суточном рационе при установлении динамического равновесия

$$C = Tf \cdot c_p \cdot m_p, \quad (40)$$

где c_p – концентрация загрязнителя в рационе, г/кг или Бк/кг;

m_p – масса рациона, кг;

Tf – коэффициент перехода в орган или ткань.

Типичные значения коэффициентов перехода для радионуклидов составляют :

- для ^{137}Cs в молоке – 0.01 л/сут , в говядине – 0.04 кг/сут;
- для ^{90}Sr в молоке – 0.0016 л/сут , в говядине – 0.04 кг/сут;
- для ^{131}I в молоке – 0.01 л/сут;
- для редкоземельных в молоке – $5 \cdot 10^{-5}$ л/сут, в говядине – $5 \cdot 10^{-4}$ л/сут;
- для трансурановых в молоке – $5 \cdot 10^{-6}$ л/сут, в говядине – $5 \cdot 10^{-5}$ л/сут.

Задание для выполнения лабораторной работы.

1) На рисунке 6 приведены пищевые цепочки зооценоза. Необходимо рассчитать концентрацию загрязнителей во всех звеньях пищевой цепочки и согласно варианту выполнения задания (таблица 14).

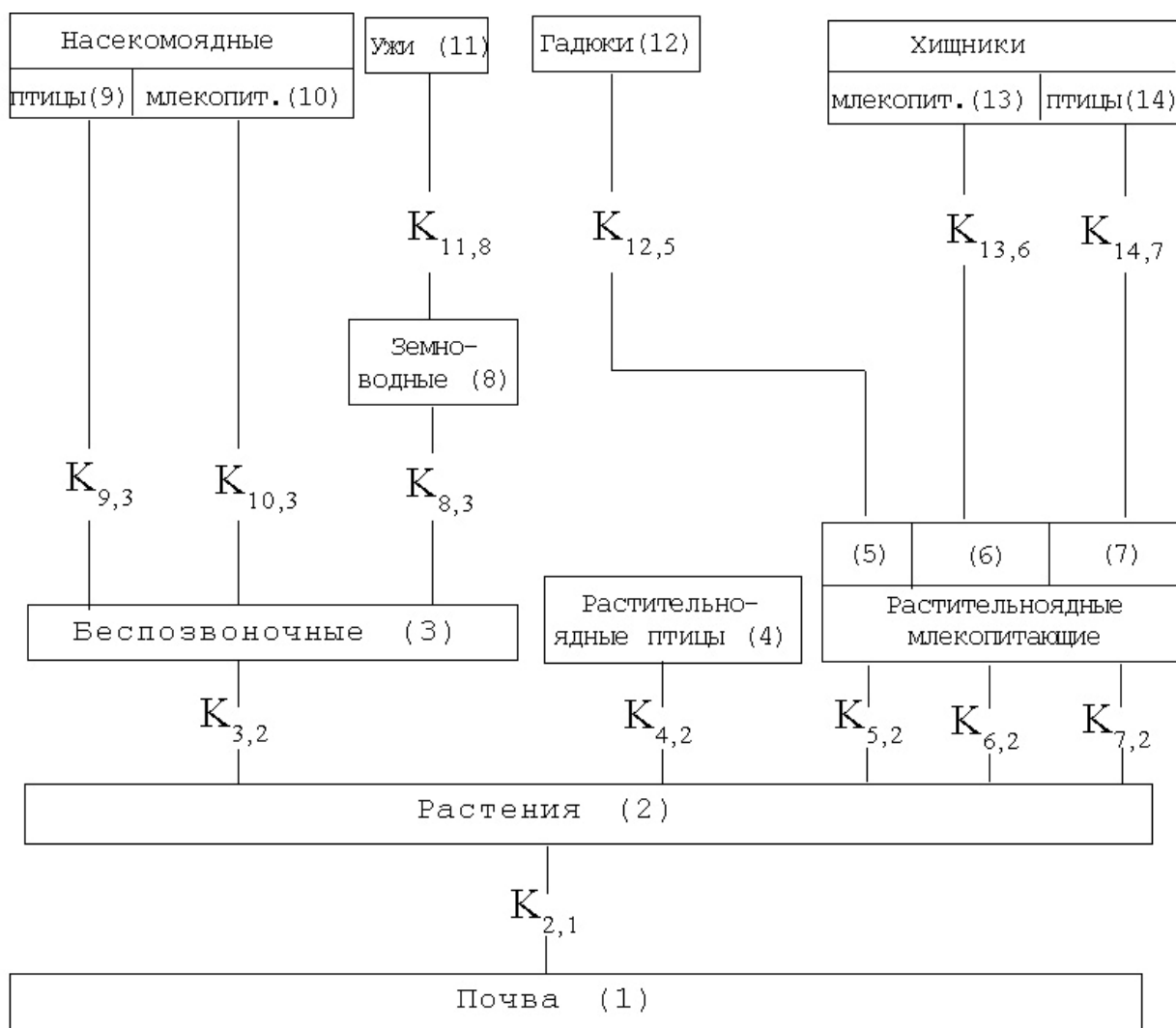


Рисунок 6 – Миграция радионуклидов по пищевым цепочкам зооценоза

Таблица 14 – Варианты для выполнения задания

Номер варианта	Радио-нуклид	Коэффициент перехода, м ² ·кг ⁻¹	Коэффициенты накопления		
			K _{3,2}	K _{8,3}	K _{11,8}
1	⁹⁰ Sr	K _{2,1} =2·10 ⁻²	K _{3,2} =5	K _{8,3} =3	K _{11,8} =9
2	⁹⁰ Sr	K _{2,1} =1·10 ⁻²	K _{3,2} =3	K _{8,3} =2	K _{11,8} =5
3	⁹⁰ Sr	K _{2,1} =2·10 ⁻²	K _{3,2} =0.3	K _{10,3} =21	
4	¹³⁷ Cs	K _{2,1} =6·10 ⁻³	K _{7,2} =0.6	K _{14,7} =1.5	
5	¹³⁷ Cs	K _{2,1} =6·10 ⁻³	K _{3,2} =1.5	K _{8,3} =0.7	K _{11,8} =3.1
6	¹³⁷ Cs	K _{2,1} =1·10 ⁻²	K _{3,2} =2	K _{8,3} =0.6	K _{11,8} =3.5
7	Cd	K _{2,1} =1·10 ⁻²	K _{3,2} =2	K _{8,3} =2	K _{11,8} =5
8	Cd	K _{2,1} =6·10 ⁻³	K _{3,2} =3	K _{10,3} =1.4	
9	Hg	K _{2,1} =1·10 ⁻³	K _{6,2} =1.3	K _{13,6} =2.5	
10	Hg	K _{2,1} =2·10 ⁻³	K _{7,2} =1.0	K _{14,7} =1.5	
11	As	K _{2,1} =6·10 ⁻³	K _{3,2} =0.5	K _{10,3} =2	
12	As	K _{2,1} =3·10 ⁻³	K _{3,2} =0.8	K _{8,3} =2.2	K _{11,8} =3.1
13	Pb	K _{2,1} =2·10 ⁻³	K _{6,2} =1.5	K _{13,6} =2.2	
14	Pb	K _{2,1} =1·10 ⁻³	K _{5,2} =0.5	K _{12,5} =2	
15	Zn	K _{2,1} =1·10 ⁻²	K _{3,2} =3	K _{10,3} =3.4	
16	Zn	K _{2,1} =2·10 ⁻²	K _{3,2} =1.6	K _{8,3} =2.5	K _{11,8} =4.2
17	Co	K _{2,1} =4·10 ⁻⁴	K _{3,2} =0.5	K _{8,3} =0.8	K _{11,8} =1.2
18	Co	K _{2,1} =8·10 ⁻⁴	K _{7,2} =0.3	K _{14,7} =0.7	
19	Se	K _{2,1} =6·10 ⁻³	K _{3,2} =0.3	K _{10,3} =0.6	
20	Se	K _{2,1} =4·10 ⁻³	K _{3,2} =0.5	K _{8,3} =0.7	K _{11,8} =1.2

2. Рассчитать удельную активность радионуклида в молоке и говядине при алиментарном поступлении в организм животных. Оценить вероятность превышения допустимого норматива по содержанию радионуклида в молоке и говядине.

Принять величину коэффициента перехода в многолетние травы в соответствии с табл. 14.

Начальную величину плотности загрязнения почвы принять 37000 Бк/м² по ¹³⁷Cs и 10000 Бк/м² по ⁹⁰Sr.

Коэффициенты перехода составляют :

- для ¹³⁷Cs в молоке – 0.01 л/сут , в говядине – 0.04 кг/сут;
- для ⁹⁰Sr в молоке – 0.0016 л/сут , в говядине – 0.04 кг/сут.

Масса суточного рациона для коровы – 50 кг.

Лабораторная работа № 7 – Оценка радиационного воздействия на биоту

Цель работы – изучить методы прогнозной оценки радиационного воздействия на биоту экосистем в зоне аварийных и штатных радиоактивных выбросов

Нормативы качества окружающей среды в абсолютном большинстве радиологических ситуаций соблюдаются, если обеспечена радиационная безопасность человека. В то же время биологические организмы, растения и животные, при загрязнении радионуклидами чаще всего облучаются большими, по сравнению с человеком дозами.

Из-за большого биологического разнообразия живых организмов невозможно оценить дозы на каждый вид биоты, поэтому в соответствии с рекомендациями МКРЗ (Публикация 91 и 103) в настоящее время принято производить оценки для небольшого набора референтных видов животных (мокрица, дождевой червь, улитка, лягушка, змеи {гадюка и уж}, утка, мышь, заяц, косуля и лось) и растений (многолетние луговые травы, кустарники, сосна обыкновенная). Эти виды рассматриваются как гипотетические объекты с определенными базовыми биологическими характеристиками и необязательно являются защищаемыми существами.

Показателем дозовой нагрузки на представителей биоты является мощность поглощенной дозы в организме видов в равновесных условиях поступления и выведения радионуклидов из окружающей среды. Мощность поглощенной дозы рассчитывается как средняя мощность дозы по всему телу организма. Для внутреннего облучения предполагается равномерное распределение радионуклидов по всему организму.

Расчет доз облучения производится отдельно для внешнего и внутреннего облучения. Суммарная поглощенная дозы для отдельного радионуклида может быть определена с помощью выражения:

$$D = D_{\text{обл}} + D_{\text{пов}} + D_{\text{внутр}}, \quad (41)$$

где $D_{\text{обл}}$ – доза, обусловленная излучением в облаке радиоактивного выброса, значима для β - и γ -излучений;

$D_{\text{пов}}$ – доза от поверхности почвы, в наибольшей степени определяется γ -излучением, поскольку β -излучение экранируется слоем воздуха;

$D_{\text{внутр}}$ – доза внутреннего облучения, наибольший вклад вносит β -излучение при условии, что размеры облучаемого органа, ткани или животного сопоставимы с пробегом частиц.

Доза внешнего облучения при нахождении внутри облака радиоактивных выпадений рассчитывается только для времени его

существования. После прекращения выброса этот фактор радиационного воздействия уже не учитывается.

Доза облучения в облаке выброса $D_{обл}$ описывается формулой :

$$D_{обл\beta(\gamma)} = A_v \cdot B_{\alpha\beta(\gamma)} \quad (42)$$

где A_v – интегральная объемная активность радионуклида, Бк·с·м⁻³;

B_α – дозовый коэффициент облучения, (Зв·м³·с⁻¹·Бк⁻¹) (таблица 15).

Расчет интегральной объемной активности радионуклида в воздухе осуществляется в соответствии с (8).

Таблица 15 – Дозовые коэффициенты наиболее распространенных техногенных радионуклидов

Радионуклид	T _{1/2}	Дозовые коэффициенты,			Дозовый коэффициент при поступлении, Зв/Бк	
		B _{αβ} , Зв·м ³ ·с ⁻¹ ·Бк ⁻¹	B _{αγ} , Зв·м ³ ·с ⁻¹ ·Бк ⁻¹	B _{сγ} , Зв·м ² ·час ⁻¹ ·Бк ⁻¹	с воздухом	с пищей и водой
⁹⁰ Sr	28.2 года	9.57E-15	-	1.34E-12	5.0E-08*	8.0E-08*
⁹⁵ Zr	63.4 суток	6.05E-15	4.97E-14	3.74E-13	5.9E-08	5.6E-08
¹⁰⁶ Ru	371.6 суток	6.94E-14	1.37E-14	6.98E-13	2.8E-08	4.9E-08
¹³¹ I	8.02 суток	1.09E-14	2.57E-14	-	7.2E-08	1.8E-07
¹³³ Xe	5.23 суток	5.13E-15	3.24E-14	1.05E-12	-	-
¹³⁷ Cs	30.1 года	1.32E-14	3.82E-14	4.18E-13	4.6E-09	1.3E-08
¹⁴⁴ Ce	284 суток	3.77E-15	1.30E-15	1.34E-12	1.6E-07	3.9E-08

Примечание: * - дозовый коэффициент для красного костного мозга

Доза внутреннего облучения $D_{внутр}$ за время t при условии наступления равновесия между поступлением и выведением радионуклида из организма:

$$D_{внутр}(t) = Tf \cdot A_s \cdot f \cdot E_{av} \cdot 1.38 \cdot 10^{-8} \cdot t, \quad (43)$$

где Tf – коэффициент перехода радионуклида для вида биоты, м²·кг⁻¹;

A_s – поверхностная активность радионуклида в почве (17), Бк/м²;

f – выход на распад данного вида излучения;

E_{av} – энергия излучения, МэВ. $E_{av} = 0.195$ МэВ для ¹³⁷Cs и 0.18 – ⁹⁰Sr;

$1.38 \cdot 10^{-8}$ – коэффициент перехода от МэВ к Дж;

t – время, прошедшее с момента радиоактивных выпадений, сутки.

Доза внешнего γ-излучения от поверхности почвы $D_{пов}$ за время, прошедшее с момента поступления радионуклида (t):

$$D_{пов}(t) = A_s \cdot B_{сγ} \cdot \left[1 - e^{(-\lambda_{эфф} t)} \right] \cdot \lambda_{эфф}^{-1}, \quad (44)$$

где $B_{сγ}$ – дозовый коэффициент, Зв·м²·сут⁻¹·Бк⁻¹ (таблица 15),

A_s – поверхностная активность радионуклида в почве, Бк/м²;

t – время, с момента выпадений, час;

$\lambda_{эфф}$ – постоянная распада вследствие радиоактивного распада и вертикальной миграции радионуклида в глубинные слои почвы. При консервативных расчетах соответствует постоянной распада рассматриваемого радионуклида.

В соответствии с данными отечественных и международных исследований и рекомендаций допустимые уровни радиационного воздействия составляют: для растений – 10 мЗв/сут, для животных – 1 мЗв/сут.

Задание для выполнения лабораторной работы.

Рассчитать дозы внешнего и внутреннего облучения для представителей биоты, составляющих пищевую цепочку на расстоянии 500, 1500, 5000 и 30000 м от источника радиоактивных выбросов за 1-е и 30-е сутки после выброса.

Исходные данные для расчетов взять из таблицы 16. Параметр метеорологического разбавления G взять из таблицы 17.

Таблица 16 – Исходные данные для выполнения лабораторной работы

Параметры	Номер варианта задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Радионуклид	¹³⁷ Cs	⁹⁵ Zr	¹⁰⁶ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁴ Ce	¹³⁷ Cs	⁹⁵ Zr	¹⁰⁶ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁴ Ce
Q, Бк	1e+12	2e+12	1e+13	3e+15	1e+10	2e+11	1e+10	1e+9	1e+14	1e+8
v_g , м·с ⁻¹	0.008	0.01	0.01	0.003	0.01	0.005	0.007	0.01	0.005	0.008
Параметры	Номер варианта задания									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Радионуклид	¹³⁷ Cs	⁹⁵ Zr	¹⁰⁶ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁴ Ce	¹³⁷ Cs	⁹⁵ Zr	¹⁰⁶ Ru	¹³¹ I	¹⁴⁴ Ce
Q, Бк	3e+13	4e+11	2e+11	5e+16	2e+11	5e+13	4e+12	3e+11	5e+15	2e+9
v_g , м·с ⁻¹	0.008	0.01	0.01	0.003	0.01	0.005	0.007	0.01	0.005	0.008

Таблица 17 – Значения параметра метеорологического разбавления

Расстояние, м	Номер варианта задания			
	1-5	6-10	11-15	16-20
500	1.01E-05	9.90E-07	3.92E-05	1.80E-07
1500	8.25E-05	3.18E-05	5.53E-05	1.06E-05
5000	2.01E-05	1.70E-05	1.59E-05	7.80E-06
30000	2.17E-07	1.36E-06	2.12E-06	1.41E-06

Лабораторная работа № 8 – Оценка риска для здоровья человека при загрязнении окружающей среды пороговыми токсикантами

Цель работы – изучить методы оценки воздействия на здоровье человека при загрязнении воздуха, воды и продуктов питания пороговыми токсикантами.

Риск наступления неблагоприятных последствий определяется величиной поступления загрязнителя в организм. Обычно количество токсиканта измеряется в миллиграммах, единицей времени служат сутки, а единицей массы тела - килограмм, следовательно, размерность перечисленных величин - $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$.

При решении задач, в которых рассматривается **поступление токсиканта с воздухом, питьевой водой или продуктами питания**, среднесуточное его поступление m , отнесенное к 1 кг массы тела человека ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$), рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{C \cdot V \cdot f \cdot T_p}{P \cdot T}, \quad (45)$$

где C - концентрация токсиканта (*при ингаляционном поступлении* – в воздухе $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$, *при поступлении с питьевой водой* – в воде $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$, *при алиментарном поступлении* – в исследуемом продукте, $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$);

V – величина поступления (*при ингаляционном поступлении* – объем воздуха, поступающего в легкие ежесуточно $V = 20 \text{ м}^3 \cdot \text{сут}^{-1}$; *при поступлении с водой* – объем поступающей воды - $V = 20 \text{ л} \cdot \text{сут}^{-1}$; *при алиментарном поступлении* - масса рассматриваемого продукта, потребляемая человеком в сутки согласно приложению Б.1);

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

T_p - количество лет, в течение на протяжении f дней происходит воздействие загрязнителя;

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

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

$$HQ = \frac{m}{H_D} \quad (46)$$

где H_D - пороговая мощность дозы, значения которой приведены в приложении Б.1.

Если $HQ < 1$, то опасности нет; риска угрозы здоровью нет. Если же $HQ > 1$, то существует опасность для здоровья.

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

$$HQ_i = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n \quad (47)$$

Задание для выполнения лабораторной работы

1. В организм человека в течение f дней на протяжении T лет поступает с вдыхаемым воздухом веществ A с концентрацией C_A ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$), с питьевой водой - вещество B с концентрацией C_B ($\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$) и с продуктом питания P вещество D с концентрацией C_D ($\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$) (таблица 18). Рассчитать индекс опасности от поступления каждого из веществ и полный индекс опасности, определить, поступление какого вещества приносит наибольшую опасность.

Таблица 18 – Исходные данные для выполнения работы

Параметры	Вариант						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
f , дней	365	365	365	180	365	365	365
T , лет	1	2	1	1	3	1	1
A	тетраэтил-свинец	тетраэтил-свинец	ртуть	ртуть	ртуть	марганец	-
$C_A, \text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$	0.00007	0.00004	0.002	0.0035	0.0008	0.15	-
B	тетраэтил-свинец	тетраэтил-свинец	метил-ртуть	метил-ртуть	метил-ртуть	марганец	мышьяк
$C_B, \text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$	0.00004	0.00003	0.003	0.0044	0.0005	20	0.1
P	-	-	молоко	молоко	молоко	-	ОВОЩИ
D	-	-	ртуть	ртуть	ртуть	-	мышьяк
$C_D, \text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$	-	-	1	1.2	0.7	-	1.2
	Вариант						
	8	9	10	11	12	13	14
f , дней	365	365	365	365	365	365	365
T , лет	1	1	2	1	3	1	1
A	бензол	бензол	бензол	бериллий	бериллий	бериллий	бензол
$C_A, \text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$	0.1	0.05	0.09	0.0001	0.0001	0.0002	0.1
B	мышьяк	селен	селен	сурьма	сурьма	сурьма	мышьяк
$C_B, \text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$	0.03	1.5	1.0	0.4	0.1	0.2	0.03

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4	5	6	7	8
P	овоци	картофель	молоко	картофель	картофель	молоко	мясо
D	мышьяк	селен	селен	сурьма	сурьма	сурьма	селен
$C_D, \text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$	0.6	2.8	4.2	0.2	0.1	0.3	2.8
Вариант							
	15	16	17	18	19	20	
f, дней	365	365	365	180	365	365	
T, лет	1	1	1	1	3	1	
A	-	-	бензол	марганец	тетраэтил- свинец	бензол	
$C_A, \text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$	-	-	0.1	0.15	0.00004	0.1	
B	хром	кадмий	сурьма	мышьяк	селен	селен	
$C_B, \text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$	1	2.1	0.4	0.03	1.0	1.5	
P	картофель	картофель	картофель	овоци	картофель	молоко	
D	хром	кадмий	сурьма	мышьяк	сурьма	сурьма	
$C_D, \text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$	10	8	0.2	0.6	0.1	0.2	

2. Определить, какая концентрация загрязнителя Z может поступить в организм с воздухом, питьевой водой или продуктом питания в течение года, не вызывая отрицательных последствий для здоровья (таблица 19).

Указание : расчет следует проводить от обратного, т.е. задать риск равным 1 и из этого значения рассчитать предельное поступление загрязнителя на 1 кг массы тела.

Таблица 19 – Исходные данные для выполнения работы

Вариант	1	2	3	4	5
Z	Марганец	Ртуть	Тетра- этилсвинец	Бензол	Бериллий
вид поступления	с воздухом	с воздухом	с воздухом	с воздухом	с воздухом
Вариант	6	7	8	9	10
Z	Нитраты	Цинк	Марганец	Хлор	Селен
вид поступления	с картофелем	с питьевой водой	с молоком	с питьевой водой	с питьевой водой
Вариант	11	12	13	14	15
Z	Кадмий	Кадмий	Кадмий	Хром (VI)	Талий
вид поступления	с молоком	с хлебом	с картофелем	с молоком	с овощами
Вариант	16	17	18	19	20
Z	Тetraэтил- свинец	Метилртуть	Бензол	Формаль- дегид	ДДТ
вид поступления	с питьевой водой	с питьевой водой	с питьевой водой	с питьевой водой	с питьевой водой

Лабораторная работа № 9 - Оценка риска для здоровья человека при проживании в зоне загрязнения беспороговыми токсикантами (не радиоактивной природы)

Цель работы – изучить методы оценки воздействия на здоровье человека при загрязнении окружающей среды беспороговыми токсикантами.

К числу наиболее опасных загрязнителей окружающей среды относятся канцерогенные вещества, воздействие которых достоверно увеличивает частоту возникновения опухолей в популяциях человека и/или животных и/или сокращает время развития этих опухолей.

При оценке воздействия канцерогенных веществ, используют два важных положения:

- у канцерогенов **нет пороговой дозы**, их действие начинается уже при самых малых количествах, попавших в организм человека или животного;

- вероятность развития онкозаболевания (т. е. канцерогенный риск) прямо **пропорциональна количеству** (дозе) канцерогена, поступившего в него.

Совокупность этих двух положений называют **беспороговой линейной моделью** :

$$r = F_r \cdot m \quad (48)$$

где r – индивидуальный канцерогенный риск – дополнительный риск онкологического заболевания (к уже существующей вероятности равной примерно 0.2), вызываемый поступлением данного канцерогена;

m – среднесуточное поступление канцерогена с воздухом, водой или с пищей, отнесенное к 1 кг массы тела человека, ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$);

F_r – коэффициент между риском и дозой – фактор риска (прил. Б.3).

Фактор риска F_r показывает, *насколько быстро возрастает вероятность онкозаболевания при увеличении дозы канцерогена, поступившего в организм человека с воздухом, водой или пищей.*

Единица фактора риска F_r – [$\text{кг} \cdot \text{сут} \cdot \text{мг}^{-1}$]. Данная величина характеризует *увеличение угрозы здоровью в результате ежедневного поступления канцерогена в количестве 1 мг, отнесенного к 1 кг массы тела человека.*

Расчет по поступлению токсикантов в организм проводится по формуле (50). T – **принимается равным** 25570 сут.

В случае воздействия нескольких канцерогенов полный риск рассчитывается как сумма отдельных рисков:

$$r_{\Sigma} = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (49)$$

Применяется следующая **шкала оценки рисков воздействия**:

- при $r < 10^{-6}$ индивидуальный канцерогенный риск воздействия рассматриваемого токсиканта считается **пренебрежимо малым**;
- в диапазоне $10^{-6} < r < 10^{-4}$ индивидуальный канцерогенный риск воздействия считается **приемлемым**;
- при $r > 10^{-4}$ риск воздействия **недопустим**.

Задание для выполнения лабораторной работы

В организм человека в течение f дней на протяжении T лет поступает с вдыхаемым воздухом веществ A с концентрацией C_A ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$), с питьевой водой - вещество B с концентрацией C_B ($\text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$) и с продуктом питания P вещество D с концентрацией C_D ($\text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$) (таблица 20). Рассчитать риск от поступления каждого из веществ и полный риск(таблица 20).

Таблица 20 – Исходные данные для выполнения работы

Основные параметры							
1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант	1	2	3	4	5	6	7
T , лет	1	2	1	1	3	1	1
A	трихлор-этилен	трихлор-этилен	свинец	свинец	ДДТ	ДДТ	ДДТ
$C_A, \text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$	0.0001	0.00003	0.0001	0.0003	0.0003	0.001	0.003
B	трихлор-этилен	трихлор-этилен	свинец	свинец	ДДТ	ДДТ	ДДТ
$C_B, \text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$	0.03	0.01	0.0005	0.0009	0.25	0.75	0.5
P	картофель	молоко	молоко	овоци	молоко	картофель	молоко
D	трихлор-этилен	трихлор-этилен	свинец	свинец	ДДТ	ДДТ	ДДТ
$C_D, \text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$	0.02	0.01	0.0002	0.0004	0.15	0.6	0.3
Вариант	8	9	10	11	12	13	14
T , лет	1	1	2	1	3	1	1
A	кадмий	кадмий	кадмий	тетрахлор-этилен	тетрахлор-этилен	тетрахлор-этилен	бенз(а)-пирен
$C_A, \text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$	0.0001	0.0002	0.00006	0.001	0.0004	0.001	0.001
B	кадмий	кадмий	кадмий	тетрахлор-этилен	тетрахлор-этилен	тетрахлор-этилен	бенз(а)-пирен
$C_B, \text{мг}\cdot\text{л}^{-1}$	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.01
P	овоци	молоко	мясо	овоци	овоци	мясо	хлеб
D	кадмий	кадмий	кадмий	тетрахлор-этилен	тетрахлор-этилен	тетрахлор-этилен	бенз(а)-пирен
$C_D, \text{мг}\cdot\text{кг}^{-1}$	1	0.5	0.6	1	0.4	0.3	0.02

1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант	15	16	17	18	19	20	
f, дней	365	365	365	180	365	365	
T, лет	1	1	1	1	3	1	
A	бенз(а)-пирен	бенз(а)-пирен	диоксины	диоксины	диоксины	диоксины	
$C_A, \text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$	0.003	0.0005	1e-07	3e-07	1e-08	3e-07	
B	бенз(а)-пирен	бенз(а)-пирен	диоксины	диоксины	диоксины	диоксины	
$C_B, \text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$	0.015	0.005	2e-05	3e-05	2e-06	1e-05	
P	хлеб	хлеб	молоко	овощи	картофель	мясо	
D	бенз(а)-пирен	бенз(а)-пирен	диоксины	диоксины	диоксины	диоксины	
$C_D, \text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$	0.025	0.01	3e-06	8e-06	9e-07	2e-06	

2. Определить, какая концентрация загрязнителя Z может поступить в организм с воздухом, питьевой водой или продуктом питания в течение года, не вызывая отрицательных последствий для здоровья (таблица 21). Принять приемлемый риск равным 10^{-5} .

Таблица 21 – Исходные данные для выполнения работы

Вариант	1	2	3	4	5
Z	Винилхлорид	Дихлорэтан	ДДТ	Выхлопные газы	Бенз(а)-пирен
поступление	с воздухом	с воздухом	с воздухом	с воздухом	с воздухом
Вариант	6	7	8	9	10
Z	Бензол	Кадмий	Мышьяк	Бенз(а)пирен	ДДТ
поступление	с картофелем	с питьевой водой	с молоком	с питьевой водой	с питьевой водой
Вариант	11	12	13	14	15
Z	Бенз(а)пирен	Мышьяк	Кадмий	Диоксины	Мышьяк
поступление	с молоком	с хлебом	с картофелем	с молоком	с овощами
Вариант	16	17	18	19	20
Z	Свинец	Мышьяк	Винилхлорид	Диокисны	Бериллий
поступление	с питьевой водой	с питьевой водой	с питьевой водой	с питьевой водой	с питьевой водой

Лабораторная работа № 10 - Оценка риска для здоровья человека при загрязнении радионуклидами

Цель работы – изучить методы оценки воздействия на здоровье человека при загрязнении окружающей среды радионуклидами.

Радиационное воздействие на организм человека определяется внешним (D^{int}) и внутренним (D^{ext}) облучением.

$$D^{\Sigma} = D^{int} + D^{ext} \quad (50)$$

Доза внешнего облучения определяется преимущественно γ -излучением, вклад β -излучения выражен в гораздо меньшей степени и определяет воздействие на наружные покровы тела. α -излучение не определяет внешнего облучения объектов биоты и человека, задерживаясь в поверхностном слое кожи или одежды. Внешнее облучение обусловлено радионуклидами, находящимися, в первую очередь, в воздухе и на поверхности почвы:

$$D^{ext} = D_S + D_V, \quad (51)$$

где D_S – доза внешнего γ -излучения от поверхности почвы (20), Зв;

D_V – доза внешнего γ -излучения от радионуклидов, рассеянных в атмосфере, Зв

При расчете дозы внешнего облучения следует учесть, что от 0.1 до 0.4 времени в течение суток человек проводит на улице, а жилые постройки имеют определенное свойство к экранированию излучения (деревянные дома снижают интенсивность γ -излучения примерно в 10 раз). Соответственно, величина дозы внутреннего облучения должна быть скорректирована:

$$D_{S'} = 0.46 \cdot D_S \quad (52)$$

Доза внешнего γ -излучения от радионуклидов, находящихся в атмосфере:

$$D_V(t) = A_v \cdot B_{v\gamma} \cdot t, \quad (53)$$

где $B_{v\gamma}$ – дозовый коэффициент, Зв·м³·час⁻¹·Бк⁻¹ (таблица 22);

A_v – объемная активность радионуклида в воздухе, Бк·м⁻³;

t – время, час.

Доза внутреннего облучения определяется от алиментарного и ингаляционного поступления α - и β -излучающих радионуклидов, а роль γ -излучения в формирование дозы внутреннего облучения относительно мала.

Доза внутреннего облучения (D^{int}) обусловлена ингаляционным (D_{ing}) и алиментарным (D_{al}) поступлением радионуклидов :

$$D^{int} = D_{ing} + D_{al} \quad (54)$$

При этом ингаляционная доза будет равна :

$$D_{ing}(t) = A_v \cdot B_{v\beta\gamma} \cdot V \cdot t, \quad (55)$$

где, $B_{v\beta\gamma}$ – дозовый от ингаляции радионуклида (таблица 17), Зв·Бк⁻¹;

A_v – объемная активность радионуклида в воздухе, Бк·м⁻³;

V – потребление воздуха в час, м³·ч⁻¹;

t – время, час.

Таблица 22 – Дозовые коэффициенты

	T _{1/2}	Дозовые коэффициенты,			Дозовый коэффициент при поступлении, Зв/Бк	
		$B_{\alpha\beta}$	$B_{v\gamma}$	$B_{s\gamma}$	с воздухом, $B_{v\beta\gamma}$	с пищей и водой, B_{al}
		Зв·м ³ ·час ⁻¹ ·Бк ⁻¹				
⁹⁰ Sr	28.2 г.	2.18E-11	1.79E-10	1.34E-12	5.0E-08 *	8.0E-08 *
¹³⁷ Cs	30.1 г.	1.36E-11	4.68E-10	4.18E-13	4.6E-09	1.3E-08

Примечание: * - дозовый коэффициент для красного костного мозга

Доза внутреннего облучения от алиментарного поступления рассчитывается по формуле :

$$D_{al} = 365 \cdot B_{al} \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot UA_i, \quad (56)$$

где, m_i – масса i-го продукта, потребляемого в сутки (таблица 23), кг;

UA_i - удельная активность i-го продукта питания, Бк·кг⁻¹;

B_{al} – дозовый коэффициент от перорального поступления, Зв · Бк⁻¹.

Рассчитывается суммарная доза внешнего и внутреннего облучения:

$$D^{\Sigma} = D_{S'} + D_V + D_{ing} + D_{al} \quad (57)$$

Исходя из величины полученной дозы рассчитывается индивидуальный радиационный риск r (чел⁻¹):

$$r = D^{\Sigma} \cdot r_e, \quad (58)$$

где, r_e – индивидуальный радиационный риск, принимаемый для населения равным $7.3 \cdot 10^{-2}$ чел⁻¹ · Зв⁻¹.

Данный коэффициент характеризует сокращение длительности периода полноценной жизни в среднем на 15 лет на один стохастический (вероятностный) случай смертельного заболевания.

Применяется следующая **шкала индивидуальных радиационных рисков воздействия**:

- при $r_e < 10^{-6}$ индивидуальный канцерогенный риск воздействия рассматриваемого токсиканта считается **пренебрежимо малым**;

- в диапазоне $10^{-6} < r_e < 5.0 \cdot 10^{-5}$ индивидуальный канцерогенный риск воздействия считается **приемлемым**;

- при $r_e > 5.0 \cdot 10^{-5}$ риск воздействия **недопустим**.

Таблица 18 – Примерное суточное потребление основных продуктов питания для сельских жителей

Продукты	Суточное потребление, кг
хлеб	0.4
картофель	0.474
овощи	0.2
фрукты	0.06
мясо	0.11
молоко	0.5
грибы свежие	0.02
ягоды лесные	0.009

Примечание – индивидуальный пищевой рацион может претерпевать значительное варьирование по сравнению с типичным как по перечню продуктов, так и по их массе. Приведенный рацион был использован при расчете гигиенических нормативов РДУ-99.

Коллективная доза K (чел·Зв) равна произведению индивидуальной дозы D^{Σ} (Зв) на численность облученной когорты N (чел):

$$K = D^{\Sigma} \cdot N \quad (59)$$

Коллективный радиационный риск R равен произведению коллективной дозы K (чел·Зв) на коэффициент индивидуального радиационного риска r_e (чел⁻¹ · Зв⁻¹):

$$R = K \cdot r_e \quad (60)$$

Коллективный риск отражает количество случаев проявления стохастических эффектов от действия излучения, каждый из которых определяет сокращение длительности периода полноценной жизни на $\beta=15$ лет. Перемножая величину коллективной дозы K на величину β получаем потерю коллективной продолжительности жизни Δ :

$$\Delta = R \cdot \beta \quad (61)$$

Данный показатель позволяет рассчитать относительную потерю коллективной продолжительности жизни δ :

$$\delta = \frac{\Delta}{70 \cdot N} \quad (62)$$

Индивидуальное сокращение жизни человека от воздействия ионизирующего излучения при этом составит Δ_u :

$$\Delta_u = 70 \cdot \delta \quad (63)$$

Задание по лабораторной работе:

Рассчитать дозу внешнего облучения при проживании на территории с плотностью загрязнения ^{137}Cs $37000 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}$, внешнего облучения от ^{137}Cs при объемной активности в воздухе $10^{-4} \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, ингаляционную дозу от ^{137}Cs , годовое поступление ^{137}Cs с продуктами питания, индивидуальный и коллективный риски, относительную и индивидуальную потерю жизни при облучении.

Таблица 24 – Варианты для выполнения лабораторной работы

Продукты	Суточное потребление m_i , кг	Удельная активность ^{137}Cs UA_i , $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$											
		Вариант											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
хлеб	0.4	2	1	1	370	370	74	40	20	15	10	5	4
картофель	0.474	5	3	3	740	370	74	80	40	20	10	10	6
овощи	0.2	10	5	5	740	185	100	100	150	100	40	15	10
фрукты	0.06	10	5	5	740	185	100	40	40	20	15	10	10
мясо	0.11	20	10	10	590	600	370	180	150	100	70	50	50
молоко	0.5	40	15	5	370	111	111	100	80	40	30	30	30
грибы свежие	0.02	200	100	60	1850	370	370	370	370	370	370	300	250
ягоды лесные	0.009	60	30	30	185	185	185	185	150	150	150	100	100

Примечание: каждый вариант задания соответствует содержанию ^{137}Cs в продуктах питания для различных условий или временного промежутка: вариант 1 – в Белорусском и Украинском Полесье в конце 70-х гг.; вариант 2 - на территории Беларуси в конце 70-х гг.; вариант 3 – средневзвешенное по территории бывшего СССР в конце 70-х гг.; 4 – норматив ВДУ-88; 5 – норматив РДУ-92; 6 – норматив РДУ-96; 7 – норматив РДУ-99; 8-10 – удельная активность в продуктах питания в различные периоды после аварии на ЧАЭС; 11-12 – типичные удельные активности ^{137}Cs в продуктах питания на современном этапе.

Контрольные вопросы по лабораторным работам:

Лабораторная работа № 1

1. Что характеризует резистентность ?
2. Какая существует зависимость между временем гибели и концентрацией токсиканта ?
3. Распределение числа погибших особей от величины дозы токсиканта ?
4. Что характеризует средняя резистентность и стандартное отклонение ?
5. Расскажите о методах определения показателей резистентности ?

Лабораторная работа № 2

1. Какой вид переноса загрязняющих веществ наиболее эффективен ?
2. Какие показатели позволяет определить моделирование загрязнения атмосферы ?
3. Какие модели применяются наиболее часто для моделирование загрязнения атмосферы?
4. Основные допущения, применяемые в Гауссовых моделях.

Лабораторная работа № 3

1. Какая общая схема распространения загрязнителей в водоемах ?
2. Какие пути поступления загрязнителей в гидросферу Вы знаете ?
3. На какие группы делятся загрязняющие вещества по характеру распределения между компонентами водной среды ?
4. Какими факторами определяется самоочищение водного потока ?

Лабораторная работа № 4

1. Что следует понимать под миграцией загрязнителя в почвах ?
2. Для чего исследуется миграция загрязняющих веществ в почвах ?
3. Какой механизм миграции описывает уравнение Фика ? В чем преимущество его применения ?
4. Какие параметры миграции рассчитываются с помощью уравнения диффузии ?

Лабораторная работа №5

1. Количественные показатели поступления радионуклидов в растения по внекорневому пути поступления.
2. В чем особенности содержания загрязнителей в растениях при одноразовых и постоянных выпадениях ?
3. За счет каких факторов происходит снижение загрязнения в растениях при внекорневом пути поступления ?

4. Количественные показатели для оценки поступления радионуклидов по корневому пути поступления в растения.

Лабораторная работа № 6

1. Назовите основные пути поступления загрязнителей в организм животных ?
2. Какие количественные показатели для оценки содержания загрязнителей в организме применяются при разовом поступлении ?
3. Что такое коэффициент накопления и для каких целей он применяется ?
4. Для каких целей применяется коэффициент перехода загрязнителя для животных ?

Лабораторная работа № 7

1. Чем обусловлена необходимость оценки радиационного воздействия на биоту ?
2. Какие референтные виды растений и животных Вы знаете ?
3. Что является дозой нагрузки на представителей биоты ? Какими видами воздействия обусловлена суммарная поглощенная доза ?
4. Какие допустимые уровни радиационного воздействия для растений и животных ?

Лабораторная работа № 8

1. Что означает пороговая доза для биологических объектов ?
2. Чем определяется риск наступления неблагоприятных последствий ?
3. Как рассчитывается поступление токсического вещества в организм ?
4. Что такое индекс опасности и как он рассчитывается ?

Лабораторная работа № 9

1. Какие положения используются при оценке воздействия канцерогенных веществ ?
2. Что такое индивидуальный канцерогенный риск ?
3. Что такое фактор риска и в чем он измеряется ?
4. Какая существует шкала канцерогенных рисков ?

Лабораторная работа № 10

1. За счет каких видов воздействия формируется доза облучения для человека ?
2. Как определяется доза внешнего облучения ?
3. Как определяется доза внутреннего облучения ?
4. Что такое индивидуальный радиационный риск и как его надо интерпретировать ?

Список использованной литературы

- 1 Дьяконов, К. Н. Экологическое проектирование и экспертиза: Учебник для вузов / К. Н. Дьяконов, А. В. Дончева. - М.: Аспект Пресс, 2002.-384 с.
- 2 Инструкции о порядке проведения оценки воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в Республике Беларусь и перечня видов и объектов хозяйственной и иной деятельности, для которых оценка воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности проводится в обязательном порядке // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. – №213 от 12 июля 2005. – 8/12855.
- 3 Допустимые выбросы радиоактивных и вредных химических веществ в приземный слой атмосферы. Под ред. Е.Н. Теверовского и И.А. Терновского М.:Атомиздат, 1980. – 256 с.
- 4 Башкин, В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование: Учеб. пособие / В.Н. Башкин. - М.: Высш. шк., 2007. - 360 с
- 5 Дончева, А. В. Экологическое проектирование и экспертиза: Практика: Учебное пособие / А. В. Дончева. - М.: Аспект Пресс, 2002. - 286 с.
- 6 Ваганов П.А. Как рассчитать риск угрозы здоровью из-за загрязнения окружающей среды: Задачи с решениями / Ваганов П.А. - СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2008. - 129 с.
7. Гусев, Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – Москва:Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
- 8 Романов, Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий: Справочное руководство / Г.Н. Романов. – Москва:ИздАТ, 1993. – 336 с.
- 9 Методика разработки нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (ДВ-2010). – Том 2 (технические приложения, рекомендации для расчетов). – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 216 с.
- 10 Проведение комплексного экспедиционного радиационно-гигиенического обследования населенного пункта для оценки доз облучения населения. Методические рекомендации – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 48 с.

**Приложение А
(обязательное)**

Таблица А.1 – Показатели устойчивости состояния атмосферы

Качественная характеристика устойчивости	Типичная скорость ветра, м/с	Описание	Вертикальный градиент температуры, град/100 м	Класс по Пасквиллу
Очень неустойчивое состояние, сильно развитая конвекция	1	Очень солнечная, летняя, тихая погода	<-1.9	А
Неустойчивое состояние, умеренная конвекция	2	Солнечно и тепло	-1.9 ... -1.7	В
Слегка неустойчивое состояние, слабая конвекция	5	Переменная облачность в течение дня	-1.6 ... -1.5	С
Безразличное (нейтральное) состояние, нейтральная стратификация	5	Облачный день или облачная ночь	-1.4 ... 0.5	Д
Слегка устойчивое состояние, слабая устойчивость	3	Переменная облачность в течение ночи	-0.4 ... +1.5	Е
Устойчивое состояние, умеренное состояние	2	Ясная ночь	1.6 ... 4.0	F

Таблица А.2 - Коэффициенты, используемые для расчета поперечной дисперсии σ_y

	Категория по Пасквиллу					
	А	В	С	Д	Е	F
c_3	0.22	0.16	0.11	0.08	0.06	0.04

Таблица А.3 - Коэффициенты в функции $g(x)$, используемой для расчета вертикальной дисперсии струи σ_z

Категория устойчивости по Пасквиллу	a_1	b_1	a_2	b_2
А	0.112	1.06	5.38E-4	0.815
В	0.130	0.950	6.52E-4	0.750
С	0.112	0.920	9.05E-4	0.718
Д	0.098	0.889	1.35E-3	0.688
Е	0.0609	0.895	1.96E-3	0.684
F	0.0638	0.783	1.36E-3	0.672

Таблица А.4 - Коэффициенты функции $f(z_0, x)$, модифицирующие σ_z для различной высоты шероховатости z_0

Высота шероховатости z_0 , см	c_1	d_1	c_2	d_2
10	2.73	0	0	0
40	5.16	-0.098	18.6	-0.225
100	7.37	-0.0957	4290	-0.60
400	11.7	-0.128	45900	-0.78

**Приложение Б
(обязательное)**

Таблица Б.1 - Значения пороговой мощности дозы H_D для наиболее распространенных токсических веществ

Токсиканты	H_D, мг·кг⁻¹·сут⁻¹
Поступающие с воздухом	
Бензол	9E-03
Марганец	1.4E-03
Ртуть (металл)	8.6E-05
Бериллий	5.8E-06
Тетраэтилсвинец	5.7E-06
Поступающие с водой и пищей	
Нитриты	1.6
Хром(Cr^{3+})	1.0
Цинк	0.3
Барий	0.2
Бор	0.2
Марганец	0.14
Хлор	0.1
Медь	0.04
Никель	0.02
Селен	5E-03
Молибден	5E-03
Серебро	5E-03
Хром (VI)	5E-03
Кадмий	5E-03
Сурьма	4E-04
Мышьяк	3E-04
Ртуть (хлорид)	3E-04
Таллий (хлорид, карбонат)	8E-05
Поступающие с водой	
Этиленгликоль	2
Ацетон	0.9
Нефтепродукты	0.6
Фенол	0.6
Метанол	0.5
Формальдегид	0.2
Пентахлорфенол C_6Cl_5OH	3E-02
Бензол	4E-03
Винилхлорид	3E-04
Нитробензол $C_6H_5NO_2$	5E-04
ДДТ	5E-04
Метилртуть $Hg(CH_3)_2$	1E-04
Тетраэтилсвинец	1.2E-07

Таблица Б.2 – Потребление основных продуктов питания, кг·сут⁻¹

Вид продукта	Потребление, кг·сут ⁻¹	Вид продукта	Потребление, кг·сут ⁻¹
Хлеб	0.4	Мясо и мясопродукты	0.11
Картофель	0.48	Молоко и молочные продукты	0.5
Овощи	0.2	Грибы свежие	0.02
Фрукты и ягоды	0.07	Ягоды лесные	0.01

Таблица Б.3 - Значения фактора риска F_r для наиболее распространенных канцерогенных веществ

Канцерогены	F_r , кг·сут·мг ⁻¹
Поступление в воздухе	
Дихлорметан	1.6E-03
Трихлорэтилен	7.0E-03
Формальдегид	2.1E-03
Свинец и его соединения	4.2E-02
Бензол	5.5E-02
Винилхлорид	7.2E-02
Тетрахлорэтилен	0.15
Дихлорэтан	0.27
Хлорбензол	0.27
ДДТ	0.34
Никель (пыль в воздухе)	0.91
Полихлорированные бифенилы	2.0
Выхлопные газы дизелей	2.1
Кадмий и его соединения	6.3
Бензо(а)пирен	7.3
Бериллий, металл и оксид	8.4
Мышьяк	12
Хром (VI)	42
Бериллий, сульфат	3.0E+03
Диоксины (смесь)	4.6E+03
Поступление с пищей и водой	
Свинец и его соединения	8.5E-03
Хлороформ	3.1E-02
Бензол	5.5E-02
Пентахлорфенол C ₆ H ₅ Cl	0.12
Хлорбензол C ₁₆ H ₁₄ Cl ₂ O ₃	0.27
ДДТ	0.3
Кадмий и его соединения	0.38
Трихлорэтилен	0.4
Тетрахлорэтилен	0.54
Мышьяк	1.75
Винилхлорид	1.9
Бериллий, оксид	7.0
Полихлорированные бифенилы	5.0
Бензо(а)пирен	12
Бериллий, сульфат	3.0E+03
Диоксины (смесь)	1.6E+05

Учебное издание

ПЕРЕВОЛОЦКИЙ Александр Николаевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Практическое руководство
для студентов специальности 1 – 31 01 01-02
«Биология (научно-педагогическая деятельность)»

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать . Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография. Усл.печ.л.
Уч.-изд.л. Тираж 120 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждения образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»
ЛИ №02330/0549481 от 14.05.2009.
ЛИ № 02330/0150450 от 03.02.2009
ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель