

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Е. И. Баранова, Л. Ю. Анопченко, А. Ю. Луговская

ЭКОЛОГИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума для обучающихся
по направлениям подготовки

05.03.03 Картография и геоинформатика, 20.03.01 Техносферная безопасность,
21.03.02 Землеустройство и кадастры, 21.03.03 Геодезия и дистанционное зон-
дирование, 38.03.01 Экономика, 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирова-
ние, 27.03.05 Инноватика, 38.03.02 Менеджмент, 10.03.01 Информационная без-
опасность, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 09.03.02 Информационные
системы и технологии, 27.03.01 Стандартизация и метрология, 12.03.02 Опти-
техника (уровень бакалавриата);
специальностям 21.05.04 Горное дело, 21.05.01 Прикладная геодезия
(уровень специалитета)

Новосибирск
СГУГиТ
2025

УДК 502
Б241

Рецензенты: кандидат технических наук, зав. кафедрой техносферной безопасности и физической культуры СГУВТ *Д. В. Панов*
кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *О. И. Малыгина*

Баранова, Е. И.

Б241 Экология : практикум / Е. И. Баранова, Л. Ю. Анопченко, А. Ю. Луговская. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 57 с. – Текст : непосредственный.
ISBN 978-5-907998-02-5

Практикум подготовлен кандидатом технических наук, доцентом Е. И. Барановой и кандидатами биологических наук, доцентами Л. Ю. Анопченко и А. Ю. Луговской на кафедре экологии и природопользования СГУГиТ.

Практикум содержит работы по вопросам, связанным с оценкой загрязнения окружающей среды (гидросферы, атмосферы, литосферы). Предназначен для обучающихся по направлениям подготовки 05.03.03 Картография и геоинформатика, 20.03.01 Техносферная безопасность, 21.03.02 Землеустройство и кадастры, 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, 38.03.01 Экономика, 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, 27.03.05 Инноватика, 38.03.02 Менеджмент, 10.03.01 Информационная безопасность, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 09.03.02 Информационные системы и технологии, 27.03.01 Стандартизация и метрология, 12.03.02 Оптотехника (уровень бакалавриата); специальностям 21.05.04 Горное дело, 21.05.01 Прикладная геодезия (уровень специалитета).

Рекомендовано к изданию кафедрой экологии и природопользования СГУГиТ, Ученым советом Института кадастра и природопользования СГУГиТ.

Ответственный редактор: кандидат биологических наук, доцент, СГУГиТ
И. И. Бочкарева

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 502

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа № 1. Оценка пригодности питьевой воды	5
Практическая работа № 2. Потоки энергии и трофические уровни в экосистеме	14
Практическая работа № 3. Влияние сточных вод на состояние водного объекта.....	18
Практическая работа № 4. Воздействие автотранспорта на городскую среду	24
Практическая работа № 5. Оценка загрязнения тяжелыми металлами го- родских почв и последствий для здоровья человека.....	31
Практическая работа № 6. Оценка экономической эффективности прове- дения водоохраных мероприятий	38
Практическая работа № 7. Расчет объема полигона твердых коммуналь- ных отходов	48
Библиографический список.....	55

ВВЕДЕНИЕ

Экология – это научная дисциплина, изучающая взаимодействие между отдельными организмами и их средой обитания, включая взаимодействие как с особями своего вида, так и с представителями других видов.

При изучении дисциплины обучающийся должен:

- получать знания об экологических системах и особенностях их функционирования в условиях нарастающей антропогенной нагрузки;
- проводить базовые расчеты по экологической оценке состояния окружающей среды;
- анализировать последствия техногенной деятельности и возникновение экологических проблем современности.

В практикуме представлены работы, призванные закрепить знания о строении экосистем и биосферы, законах экологии, взаимоотношениях организмов с окружающей средой, об основах экономики природопользования и охраны окружающей среды, системе обращения с твердыми коммунальными отходами, о глобальных проблемах окружающей среды.

Методические рекомендации по выполнению практических работ даются перед описанием задания, что способствует более глубокому усвоению теоретического материала. Практические работы представляют собой логично выстроенный ход действий, включающих выполнение заданий с использованием имеющегося в аудитории оборудования. Формируемые в процессе практических занятий умения и навыки могут быть использованы обучающимися в будущей профессиональной деятельности. Данный практикум разработан на основе рабочей программы дисциплины «Экология».

Практическая работа № 1

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Цель: выполнить анализ воды и оценить ее пригодность в качестве питьевой.

Время выполнения: 8 часов (аудиторная работа – 4 ч, СРО – 4 ч).

Оборудование: рН-полоски, калькулятор, растворы анализируемых жидкостей.

Краткие теоретические сведения

Питьевая вода – это вода, предназначенная для питья и использования в приготовлении пищи без вреда для здоровья людей.

В настоящее время существует множество критериев пригодности воды для питья, сгруппированные в пять категорий:

- физико-химические свойства (рН, минерализация, жесткость и др.);
- органолептические свойства (цвет, вкус и запах);
- микробиологические свойства (патогенные микроорганизмы);
- свойства, связанные с инородными веществами (нитраты, нитриты, пестициды);
- свойства, связанные с токсичными веществами (мышьяк, цианид, хром, никель, селен, углеводороды).

Водородный показатель – рН. Водородный показатель – это отрицательный логарифм концентрации ионов водорода в воде. рН является важным индикатором химических, физических и биологических изменений в воде и играет важнейшую роль в химических процессах в природных водах. Значения рН находятся в шкале от 0 до 14 (рис. 1.1), где 7,0 считается нейтральным. Растворы с рН ниже 7,0 относят к кислым, выше 7,0 – к щелочным. Шкала рН является логарифмической: это означает, что каждое изменение рН на одну единицу представляет собой десятикратное изменение кислотности.



Рис. 1.1. Шкала водородного показателя (pH)

Жесткость воды, выраженная в мг·экв/л, определяется содержанием растворенных ионов кальция и магния. Классификация воды по величине общей жесткости представлена на рис. 1.2.

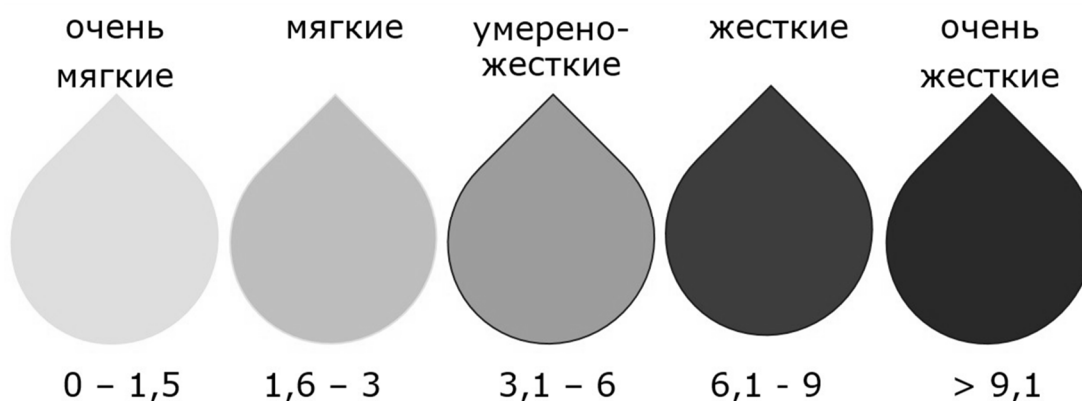


Рис. 1.2. Классификация общей жесткости воды, мг·экв/л

Природные воды также классифицируются по содержанию растворенных солей (рис. 1.3). В речной и грунтовой воде соленость варьируется от 50–200 до 1500–2000 мг/л. Наибольшее количество растворенных примесей содержится в водах океанов и морей.



Рис. 1.3. Классификация общей жесткости воды, мг · экв/л

Вода также классифицируется по преобладающему аниону. Существуют гидрокарбонатные, хлоридные или сульфатные воды. Пресная вода обычно относится к гидрокарбонатному классу.

Органолептические свойства воды относятся к тем ее качествам, которые воздействуют на органы чувств человека. К таким показателям относятся запах, вкус (послевкусие), мутность и цвет. Абсолютно чистая с химической точки зрения вода не обладает этими качествами, так как не имеет запаха и вкуса. Требования к органолептическим показателям воды устанавливаются санитарными нормами.

Мутность возникает из-за наличия в воде взвешенных частиц (частиц диаметром более 100 мкм). Основной причиной необходимости контроля мутности является снижение эффективности обеззараживания воды ультрафиолетом и развитие микроорганизмов из-за наличия взвешенных веществ. Прозрачность воды обусловлена содержанием в ней различных окрашенных веществ и взвешенных органических и минеральных веществ (рис. 1.4).

Запах и вкус воды обусловлены растворенными солями, газами, органическими соединениями, образующимися в процессе жизнедеятельности водных организмов. Основными причинами появления привкуса и запаха в воде являются гниющие растения, грибки и плесень, бактерии, соединения тяжелых металлов, солей, хлорирование воды и др. Запах определяется с использованием специальной шкалы (рис. 1.5).

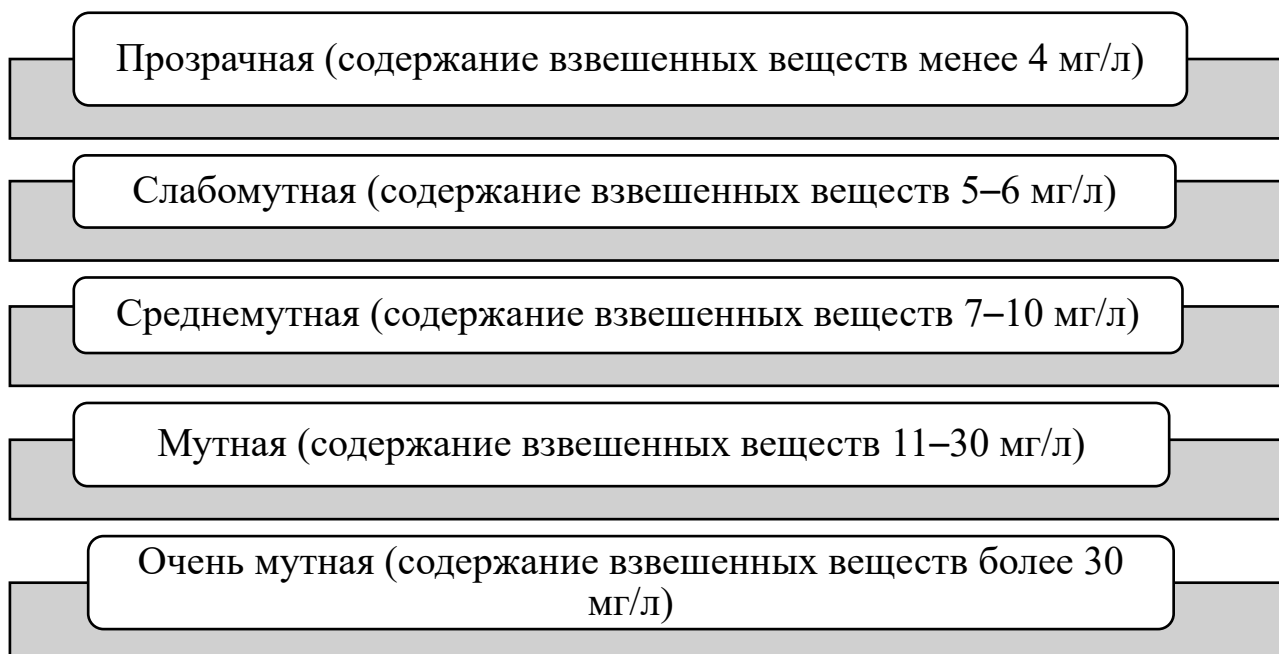


Рис. 1.4. Классификация мутности воды



Рис. 1.5. Шкала интенсивности запаха по 5-балльной системе

Для определения органолептических свойств воды, жидкостей и анализа пригодности в качестве питьевой используются бланк описания (рис. 1.6).

БЛАНК ОПИСАНИЯ КАЧЕСТВА ЖИДКОСТИ

Название _____

Дата проведения анализа _____

Ответственные исполнители _____

Определение показателей и результаты анализов

№	Наименование показателя	Результат
1	Запах	
2	Цвет	
3	Прозрачность/мутность	
4	Водородный показатель	

Заключение (выводы) _____

Рис. 1.6. Бланк описания

Для анализа проб воды используются различные способы сокращенного изображения состава. Наиболее часто применяется формула М. Г. Курлова – это наглядное изображение химического состава природной воды.

В этой формуле, выражаемой в виде псевдодробы, в числителе пишут в процент-эквивалентах в убывающем порядке анионы, а в знаменателе в таком же порядке катионы. Ионы, присутствующие в количестве менее 10 % экв, в формулу не вносят. К символу иона приписывают его содержание в процент-эквивалентах в целых числах. Впереди дроби указывают величину минерализации (М) в г/л, рН, жесткость в мг · экв/л [1].

Задание

1. Полученные данные (по вариантам) необходимо перенести в первую строку заполняемой таблицы.
2. Исходные данные переводятся в размерность мг·экв/л путем деления результатов анализа на эквивалентную массу соответствующего иона (табл. 1.1). Результаты записываются во вторую строку таблицы. Например,

если концентрация Ca^{2+} – 69 мг/л, то необходимо разделить концентрацию на его эквивалентную массу – 20,04 ($69 : 20,04 = 3,44$ мг · экв/л).

Таблица 1.1

Эквивалентная масса ионов

Ион	Эквивалентная масса	Название иона
Ca^{2+}	20,04	Кальций-ион
Mg^{2+}	12,15	Магний-ион
CO_3^{2-}	30,01	Карбонат-ион
SO_4^{2-}	48,03	Сульфат-ион
HCO_3^-	61,02	Гидрокарбонат-ион
Cl^-	35,45	Хлор-ион
NO_3^-	62,00	Нитрат-ион
Na^+	22,99	Натрий-ион

3. Для вычисления процент-эквивалентов (% · экв) принимаем сумму мг · экв анионов (ΣA), содержащихся в 1 л воды за 100 % и вычисляем процент содержания каждого аниона в мг · экв по отношению к этой сумме. Аналогично вычисляем процент-эквивалент катионов. Полученные результаты записываются в третью строку таблицы.

Например, сумма катионов равна 19,35:

$$\begin{aligned}
 19,35 &= 100 \%, \\
 8,09 &= x, \\
 x &= 41,8 \% \cdot \text{экв (Na)}.
 \end{aligned}$$

Суммы катионов и анионов, выраженные в мг · экв/л, должны быть равны между собой. Часто точного совпадения цифр ввиду погрешностей анализа не бывает. Допустимая неточность анализа (x) определяется по формуле

$$X = \frac{\Sigma A - \Sigma K}{\Sigma A + \Sigma K} \cdot 100 \leq 5 \%,$$

где ΣA – сумма мг · экв/л анионов; ΣK – сумма мг · экв/л катионов.

4. Рассчитать жесткость воды путем сложения значений содержания ионов кальция и магния в размерности мг · экв/л.

$$Ж = 3,44 + 7,82 = 11,26 \text{ мг} \cdot \text{экв/л.}$$

5. Рассчитать минерализацию воды. Для этого необходимо сложить все концентрации растворенных в воде неорганических веществ.

$$М = (186 + 69 + 95 + 44 + 192 + 4 + 854) \text{ мг/л} / 1\,000 = 1,44 \text{ г/л.}$$

Пример заполнения приведен в табл. 2.2.

Таблица 1.2

Пример заполнения таблицы

рН	Катионы			ΣК	Анионы					ΣА	Ед. изм.
	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ₂₊		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻		
8,2	186	69	95	19,35	44	192	4	854	0	19,37	мг/л
	8,09	3,44	7,82		1,24	4,00	0,13	14,00	0		мг · экв/л
	41,8	17,8	40,4		6,4	20,6	0,7	72,3	0		% -экв.

$$pH 8,2 \quad Ж 11,26 \quad М 1,44 \quad \frac{HCO_3^- 72 \quad SO_4^{2-} 21}{Na^+ 42 \quad Mg^{2+} 40 \quad Ca^{2+} 18}$$

6. Необходимо дать название воды и определить ее пригодность для питья. Например, вода, близкая к нейтральной, очень жесткая, соленая, сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниевая, пригодная для питья.

В название химического состава воды входят ионы, содержание которых ≥ 25 %-экв., и называют воду, начиная с анионов от 25 %-экв. в убывающем порядке, затем катионы в таком же порядке.

Критерии для оценки питьевой воды:

- рН от 6,5 до 8,5;
- Ж менее 7 мг · экв/л;
- М менее 1 г/л;
- содержание хлоридов менее 350 мг/л и сульфатов менее 500 мг/л, а их сумма менее 450 мг/л.

Необходимо произвести анализ 10 жидкостей, заполнить бланки, сделать вывод о пригодности использования их для питья (см. рис. 1.6).

Ниже предлагаются варианты для выполнения работ (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Исходные данные (химический анализ природных вод, мг/л)

Номер варианта	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
1	6,6	92	60	28	9	98	12	403	0
	8,4	99	72	50	37	118	12	500	3
	6,9	320	237	30	709	357	0	49	0
2	8,1	26	210	31	17	302	12	427	6
	7,7	38	254	70	303	131	0	525	13
	7,4	150	36	146	348	247	0	287	42
3	8,4	117	113	105	215	108	34	494	113
	7,9	372	295	112	313	694	0	488	550
	8,1	50	28	11	35	13	2	195	0
4	6,9	61	612	147	556	491	0	555	640
	8,24	202	129	57	86	349	12	555	46
	7,4	41,9	2,5	2,2	56	5,69	0	30,3	0
5	8,1	778	234	298	813	849	12	720	1 070
	7,2	8	2,5	3,7	20,5	0,3	0	10,4	0
	8,5	240	106	58	115	253	0	515	220
6	8,9	75	174	30	114	96	6	537	12
	8,4	586	129	163	370	605	24	830	490
	7,5	92	19	117	202,9	151	12	322	0
7	6,2	75	118	5	50	57	0	427	2
	7,9	936	434	191	597	2 496	2	549	10
	7,2	906	512	262	945	2 489	0	488	4
8	7,6	74	56	30	16	10	0	476	2
	7,9	63	65	69	86	88	6	439	0
	7,1	60	122	11	142	153	0	147	0
9	7,8	234	22	11	5	10	12	695	2
	7,1	181	44	28	9	26	0	705	2
	8,8	10,4	2	2,4	0,4	0	1,6	42	0
10	7,5	231	146	97	136	690	12	409	4
	7,9	216	87	84	196	362	6	366	85
	6,3	2,5	2	3,3	13	0,8	0	7	0
11	8,6	117	87	36	109	164	36	287	0
	7,5	73	59	26	54	114	0	262	3
	7,3	77	48	48	17	57	0	443	0
12	8,1	63	45	79	19	26	0	634	0
	8,2	150	84	86	167	296	10	403	0
	7,4	462	64	68	398	453	0	503	0
13	7,8	55	53	53	6	38	11	512	5
	7,4	3	126	40	4	2	0	584	0
	8,2	51,1	88,6	6	232	4,2	1,4	28	0
14	8,6	276	26	50	24	120	0	878	2
	7,4	43	62	44	6	28	2	482	0
	7,3	10,6	2,2	1,8	4,8	8,4	3	18,4	0
15	8	208	22	40	5	8	2	793	4
	7,7	597	89	168	32	1450	10	769	12
	8,2	186	69	95	44	192	4	854	0

Контрольные вопросы

1. Дайте определение минерализации, жесткости воды и водородного показателя.
2. Перечислите основные органолептические свойства воды.
3. Чем обусловлен запах и вкус воды?
4. Что отражает формула М. Г. Курлова и как она записывается?
5. Как читается формула М. Г. Курлова?
6. Каким требованиям отвечает вода для использования в качестве питьевой?

Практическая работа № 2

ПОТОКИ ЭНЕРГИИ И ТРОФИЧЕСКИЕ УРОВНИ В ЭКОСИСТЕМЕ

Цель: научиться выполнять расчеты по определению экологической эффективности использования солнечной энергии, запасенной в органическом веществе автотрофами.

Время выполнения: 4 часа (аудиторная работа – 2 ч, СРО – 2 ч).

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Основной источник энергии для всего живого на Земле – Солнце. Поток солнечной энергии распространяется с уровня автотрофов, создающих чистую первичную продукцию, на другие вышележащие трофические уровни (последовательность организмов, объединенных в звенья по типу питания). Первый трофический уровень занимают автотрофы, или первичные продуценты. Организмы второго трофического уровня называются гетеротрофами, или консументами, которые делятся на порядки: первый порядок, представленный травоядными; второй порядок – плотоядные, или хищники, питающиеся консументами первого порядка; и третий порядок – это высшие хищники, которые питаются организмами на всех предыдущих уровнях. Завершающий уровень состоит из редуцентов, способных разложить консументов, закончивших жизненный цикл, до минеральной основы, доступной для питания первичных продуцентов [2].

Как и зеленые растения, усваивающие лишь часть приходящей энергии, травоядные могут использовать только ее некоторую долю, запасенную в тканях растений. То же относится и к хищникам различных порядков. Эффективность переноса энергии с уровня на уровень никогда не достигает 100 %. Обычно она лежит в пределах 10–20 % в зависимости от конкретного организма, стадии его жизненного цикла и типа экосистемы. Отношение величин потоков энергии в разных точках пищевой цепи, выраженное в процентах, обычно называют экологической эффективностью. Существуют различные типы экологической эффективности.

Отношения внутри трофических уровней:

- 1) Pt / At – эффективность роста тканей;
- 2) Pt / It – экономическая эффективность;
- 3) At / It – эффективность ассимиляции,

где P – продукция биомассы; I – поступление энергии; A – ассимиляция; t – трофический уровень.

Отношения между трофическими уровнями: P_1/P_2 – экологическая эффективность, где P_1 – выделение энергии на первом трофическом уровне; P_2 – выделение энергии на другом трофическом уровне.

Переход энергии и вещества от одного трофического уровня к другому составляет в среднем 10 %. В одних цепях питания он может быть несколько выше, а в других – немного ниже. В 1942 г. был сформулирован принцип преобразования энергии в экосистемах, получивший название «правило 10 % (правило Линдемана)». Согласно правилу 10 %, при переходе с одного трофического уровня на последующий в цепи питания передается в среднем около 10 % энергии без каких-либо неблагоприятных последствий для экосистемы. При этом имеется в виду часть энергии, поступившей с пищей, которую организм использует для построения органического вещества своего тела.

Эффективность ассимиляции и роста (отношения внутри трофических уровней) имеет порядок 10–50 %. Организмы, потребляющие очень питательную пищу, могут ассимилировать до 100 % съеденного.

Задание

В листопадном лесу в подстилке обитает 70 экземпляров диплопод на 1 м², масса одного экземпляра 120 мг. Годичное поступление опада в подстилку 200 г/м² обеззоленного органического вещества с концентрацией углерода 45 %. Активность диплопод продолжается 6 месяцев (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Энергетические показатели пищевой активности диплопод

Параметры	Пищевая активность диплопод, кал/г · сутки
Потребление подстилки	256,7
Ассимиляция	13,3
Продукция	1,1
Дыхание	12,2
Экскрекция	243,4

Рассчитать коэффициенты экологической эффективности между трофическими уровнями (эффективности продукции трофического уровня) и внутри трофического уровня (эффективность использования продукции, эффективности роста ткани и эффективности ассимиляции) для диплопод, питающихся подстилкой (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Исходные данные

Вариант	Экосистема	Количество диплопод на 1 м ²	Масса одного экземпляра, мг	Количество подстилки, г	Процент углерода, %	Активность диплопод, мес.
1	Березовый лес	90	130	250	47	7
2	Осинник	100	90	400	42	6
3	Смешанный лес	60	100	150	40	5
4	Опушка леса	120	130	500	55	7
5	Лиственный лес	45	150	300	45	6
6	Ельник	50	90	250	40	5
7	Березово-еловый лес	95	110	460	55	7
8	Кедровник	50	100	150	40	5
9	Листопадный лес	60	80	290	51	7
10	Тополевая роща	45	140	300	48	6
11	Елово-пихтовый лес	130	170	670	55	7
12	Сосново-березовый лес	55	85	350	50	6
13	Светло-хвойная тайга	100	100	450	35	7
14	Березовый колок	110	120	550	48	7
15	Дубовый лес	80	180	360	45	6

1. Переводим общее содержание обеззоленного органического вещества подстилки в углерод. Содержание углерода С в подстилке – 45 %, количество подстилки – 200 г. Количество углерода – 90 г.

2. Для расчета калорийности подстилки переводим содержание С в глюкозу, используя коэффициент пересчета К равным 2,5. Запас подстилки, выраженной в глюкозе, равен $90 \cdot 2,5 = 225$ г.

3. Количество энергии, необходимой для получения 1 г глюкозы, – 3 760 кал.

4. Определяем количество энергии в подстилке при запасе, выраженном в глюкозе, – 225 г, получится 846 000 кал (I_1); переводим и получаем 846 ккал.

5. Общая масса диплопод на 1 м² оставляет 70 экз. · 120 мг = 8 400 мг (или 8,4 г).

6. Потребление подстилки диплоподами в калориях за 180 суток: $256,7 \cdot 180 \cdot 8,4 = 388130,4$ кал = 388,130 ккал.

7. Выделилось энергии с экскрементами за 180 суток:

$$243,4 \cdot 180 \cdot 8,4 = 368\,020,8 \text{ кал} = 368,021 \text{ ккал.}$$

8. Ассимилировалось энергии за 180 суток: $13,3 \cdot 180 \cdot 8,4 = 20\,109,6$ кал = 20,1 ккал.

9. Энергия, которая затрачена на построение тела диплопод (продукция P): $1,1 \cdot 180 \cdot 8,4 = 1663,2$ кал = 1,663 ккал.

10. Энергия, выделившаяся с дыханием $12,2 \cdot 180 \cdot 8,4 = 18\,446,4$ кал = 18,446 ккал; экономическая эффективность Pt / It , где $P = 1,663$; $t = 2$; Ic (потребленное количество подстилки) = 388,130 ккал.

$$((1,663 \cdot 2) / (388,130 \cdot 2)) \cdot 100 = 0,4 \text{ \%}.$$

11. Эффективность роста тканей Pt / At , где $P = 1,663$; $t = 2$; $A = 20,1$.

$$((1,663 \cdot 2) / (20,1 \cdot 2)) \cdot 100 = 8,3 \text{ \%}.$$

12. Эффективность ассимиляции At / It , где $A = 20,1$ ккал; $I = 388,130$; $t = 2$.

$$((20,1 \cdot 2) / (388,130 \cdot 2)) \cdot 100 = 5,2 \text{ \%}.$$

13. Экологическая эффективность $R + P / I_1$ (R – дыхание):

$$R = 18,446; P = 1,663; I_1 = 846; R = ((18,446 + 1,663) / 846) \cdot 100 = 2,4 \text{ \%}.$$

Контрольные вопросы

1. Что называется трофическим уровнем?
2. Какие трофические уровни существуют в экосистеме?
3. Объясните правило 10 процентов.

Практическая работа № 3

ВЛИЯНИЕ СТОЧНЫХ ВОД НА СОСТОЯНИЕ ВОДНОГО ОБЪЕКТА

Цель: провести расчет общего загрязнения водного объекта, описать основные виды загрязнения воды.

Время выполнения: 4 часа (аудиторная работа – 2 ч, СРО – 2 ч).

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Загрязнение воды – изменение химического и физического состояния или биологических характеристик воды, ограничивающие ее дальнейшее употребление. Загрязнением воды является широкий спектр негативных воздействий на водные объекты, такие как озера, реки, океаны и подземные воды, вызванных деятельностью человека.

Промышленные предприятия сбрасывают со сточными водами различные загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы, гранулы смол, органические токсины, масла, твердые частицы и др. Сбросы также могут оказывать термическое воздействие, особенно сбросы электростанций. Сточные воды, содержащие ил, образующиеся в результате многих видов деятельности, в том числе строительства, вырубки лесов и сельского хозяйства, могут препятствовать проникновению солнечного света через толщу воды, ограничивая фотосинтез и вызывая заиливание дна озера или реки, что в свою очередь наносит ущерб экологическим системам.

Согласно Водному кодексу, сточные воды – это дождевые, талые, инфильтрационные, поливочные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с водосборной площади [3].

Необходимость очистки сточных вод регламентируется в соответствии с законодательной базой Российской Федерации, а именно федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», согласно которому при осуществлении хозяйственной или иной деятельности необходимо

соблюдать принцип минимизации негативного воздействия на окружающую среду посредством использования наилучших доступных технологий и соблюдения нормативных концентраций загрязняющих веществ. Защита окружающей среды от загрязнения регулируется предельной концентрацией (ПДК) загрязняющих веществ. ПДК – это максимальная концентрация вещества (мг/мл, мг/кг, мг/м³), которая при воздействии на протяжении всей жизни человека не оказывает ни на него, ни на окружающую среду в целом вредного воздействия, включая отдаленные последствия [4].

Загрязнение воды происходит либо из локальных, либо из распределенных источников. Локальные источники – это трубы или каналы, например, те, которые используются для сброса сточных вод с промышленного предприятия или городской канализационной системы. Распределенный (или неточечный) источник – это очень обширная открытая территория, с которой в водоем попадают различные загрязняющие вещества, например сточные воды с сельскохозяйственных угодий.

Трансграничное загрязнение – это результат попадания загрязненных вод из одной страны в водные объекты другой.

Загрязнение может быть результатом стихийного бедствия, например разлива нефти, или медленного спуска по течению промышленных, сельскохозяйственных или бытовых сточных вод [5].

Основные виды загрязнения воды представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Особенности загрязнения вод

Вид загрязнения	Описание	Источники	Последствия
Водные объекты			
Загрязнение подземных вод	Подземные воды, хранящиеся в водоносных горизонтах под поверхностью Земли, имеют решающее значение для питьевой воды. Они загрязняются, когда вредные вещества попадают в почву и проникают в подземные воды, и их трудно очистить из-за медленной естественной фильтрации и длительного времени пребывания в почве	Сельскохозяйственные стоки, содержащие пестициды и удобрения, утечки из канализационных систем, разливы химических веществ, свалки и добыча ископаемого топлива. К распространенным загрязнителям грунтовых вод относятся нитраты, пестициды, органические соединения и нефтепродукты	Загрязняющие вещества, такие как нитраты, тяжелые металлы и патогенные микроорганизмы, делают грунтовые воды непригодными для питья и сельского хозяйства. Загрязнение грунтовых вод трудно обнаружить и очистить, что делает это долгосрочной проблемой для пострадавших сообществ

Продолжение табл. 3.1

Вид загрязнения	Описание	Источники	Последствия
Загрязнение поверхностных вод	Загрязнители поверхностных вод влияют на состояние таких водоемов, как озера, реки, водохранилища, моря и океаны. Это загрязнение возникает как из локальных источников (прямые сбросы с предприятий, очистных сооружений), так и из неточечных источников (сбросы из городских районов, сельскохозяйственные стоки)	Промышленные сточные воды, неочищенные сточные воды, сельскохозяйственные стоки, мусор, разливы нефти	Загрязнение поверхностных вод ухудшает качество воды, наносит вред водным обитателям и может сделать воду непригодной для использования человеком, в том числе для питья, рыбалки и отдыха
Виды загрязнений вод			
Химическое загрязнение	Химическое загрязнение – одна из наиболее распространенных форм загрязнения воды, возникающая при попадании опасных химических веществ в водоемы. Этот тип загрязнения может оказывать немедленное или долгосрочное токсическое воздействие как на водную флору и фауну, так и на здоровье человека	Промышленные сбросы, сельскохозяйственные стоки, содержащие пестициды и удобрения, добыча полезных ископаемых и неправильная утилизация бытовой химии. Распространенные загрязняющие вещества: мышьяк, свинец, ртуть, жидкости для гидроразрыва пласта, азот и побочные продукты хлорированной дезинфекции	Загрязняющие вещества могут накапливаться в системе водоснабжения, вызывая серьезные проблемы со здоровьем, а также отравляя водную флору и фауну
Микробиологическое загрязнение	Микробиологическое загрязнение вызвано присутствием в воде вредных микроорганизмов, таких как бактерии, вирусы и простейшие. Эти патогены могут вызывать заболевания при ее употреблении или ее использовании для купания или орошения	Отходы жизнедеятельности человека и животных, сельскохозяйственные стоки, неочищенные сточные воды и ливневые стоки. Этот тип загрязнения особенно распространен в районах с недостаточными мощностями по очистке воды	Приводит к вспышкам заболеваний, передающихся через воду, таких как холера, дизентерия и брюшной тиф. Микробиологическое загрязнение является серьезной проблемой общественного здравоохранения, особенно в развивающихся странах
Загрязнение взвешенными веществами	Взвешенные вещества – это загрязняющие вещества, которые не растворяются в воде, а остаются во взвешенном состоянии в виде твердых частиц. Они могут быть органическими или неорганическими, способными оказывать различное вредное воздействие на качество воды	Эрозия почвы, сток с сельскохозяйственных полей, сброс промышленных отходов и цветение водорослей	Взвешенные частицы могут оседать на дне водоемов, нарушая среду обитания водных организмов. Большое количество взвешенных веществ может привести к заилению водоема. Плавающие частицы блокируют солнечный свет и снижают уровень кислорода, нарушая фотосинтез водных растений и угрожая рыбам и другим видам

Вид загрязнения	Описание	Источники	Последствия
Тепловое загрязнение	Тепловое загрязнение возникает при значительном изменении температуры воды, происходящем в результате деятельности человека. Такие колебания температуры могут оказывать серьезное воздействие на водные экосистемы	Сбросы нагретой воды с промышленных предприятий, электростанций и вырубка лесов, которая лишает водоемы тенистого покрова	Даже небольшие изменения температуры могут снизить содержание кислорода в воде, вызывая стресс или гибель рыб и других водных организмов. Более теплая вода также может способствовать росту вредных бактерий и водорослей, усугубляя другие виды загрязнения

Задание

На берегу озера площадью S км² и средней глубиной h м расположено промышленное предприятие, использующее воду из озера для технических нужд и затем сбрасывающее загрязненную воду в озеро. Цикл работы предприятия непрерывный (круглосуточный). Объем сброса сточной воды – L л/с. Рассчитать, каким будет загрязнение озера через 1 год.

1. Определить объем озера и вычислить объем сточной воды, поступающей в озеро за 1 год.

2. Определить количество каждого загрязняющего вещества (ЗВ), поступившего в озеро со сточными водами за год.

3. Вычислить концентрацию каждого ЗВ в озере после годовичного сброса сточных вод по формуле

$$C_i = \text{количество ЗВ}_i \text{ в озере} / \text{объем воды в озере}.$$

4. Определить общее загрязнение озера предприятием по формуле

$$C = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3} + \frac{C_4}{\text{ПДК}_4} + \frac{C_5}{\text{ПДК}_5} = \sum \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где C_i – концентрация ЗВ_{*i*} в озере после годовичного сброса сточных вод в озеро; ПДК_{*i*} – ПДК этого ЗВ_{*i*}.

При совместном действии нескольких загрязняющих веществ, обладающих однонаправленным (усиление эффекта при одновременном

воздействии) действием, их безразмерная суммарная концентрация не должна превышать 1 (табл. 3.2, 3.3).

5. Сделать выводы о промышленном загрязнении озера и дать рекомендации по методу очистки и мероприятиям по сохранению озера.

Таблица 3.2

ПДК загрязняющих веществ в сбросах в водный объект
рыбохозяйственного значения

Загрязняющие вещества	ПДК, мг/л
Мышьяк (As)	0,05
Медь (Cu)	0,001
Кадмий (Cd)	0,005
Хром общий (Cr)	0,07
Цинк (Zn)	0,01
Ртуть (Hg)	0,005
Свинец (Pb)	0,1

Таблица 3.3

Исходные данные

Номер варианта	S , км ²	H , м	L , л/с	As, мг/л	Cu, мг/л	Cd, мг/л	Cr, мг/л	Zn, мг/л	Hg, мг/л	Pb, мг/л
1	4	3	15	0,23	0,002	0,001	0,02	0,01	0,004	0,01
2	3	2,5	18	0,21	0,003	0,002	0,03	0,001	0,005	0,3
3	4	2	12	0,32	0,0005	0,003	0,04	0,002	0,005	0,09
4	6	2,5	10	0,21	0,006	0,004	0,05	0,003	0,004	0,2
5	5	3,5	10	0,62	0,0008	0,005	0,06	0,004	0,003	0,08
6	4,5	1	15	2,6	0,0009	0,006	0,07	0,005	0,002	0,07
7	4	2	25	1,6	0,0005	0,007	0,08	0,006	0,003	0,06
8	5	2	28	0,6	0,0004	0,005	0,09	0,007	0,006	0,05
9	1,5	1,8	20	0,3	0,0008	0,004	0,02	0,008	0,008	0,1
10	1,8	2,8	15	0,6	0,0001	0,005	0,03	0,009	0,004	0,2
11	3	2,3	10	0,2	0,0009	0,006	0,04	0,01	0,005	0,6
12	3,6	2	16	0,34	0,001	0,008	0,05	0,01	0,006	0,05
13	5	2,5	15	0,04	0,0001	0,004	0,06	0,02	0,004	0,05
14	3	1,5	12	2,1	0,001	0,002	0,07	0,001	0,005	0,1
15	4	3,5	22	0,24	0,0004	0,003	0,08	0,002	0,006	0,02

Контрольные вопросы

1. Дайте определение сточной воды.
2. Дайте определение ПДК.
3. Как определяется суммарное загрязнение при наличии нескольких загрязняющих веществ однонаправленного действия?
4. Перечислите основные виды загрязнения вод и их последствия.

Практическая работа № 4

ВОЗДЕЙСТВИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА ГОРОДСКУЮ СРЕДУ

Цель: анализ воздействия автотранспорта на окружающую среду.

Время выполнения: 4 часа (аудиторная работа – 2 ч, СРО – 2 ч).

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Загрязнение окружающей среды, вызванное автотранспортом, является серьезной проблемой. Оно влияет не только на окружающую среду, но и на здоровье людей. Большое количество автомобилей и интенсивное дорожное движение оказывают огромное влияние на качество атмосферного воздуха. Выбросы от всех транспортных средств могут вызывать проблемы с дыханием и сердцем, а также повышать риск развития серьезных заболеваний. Выбросы вредных веществ от автомобильного транспорта включают в себя оксид углерода (CO), летучие органические вещества, оксиды азота (NO_x), углекислый газ (CO₂), взвешенные вещества и др. [6].

Оксид углерода (угарный газ) представляет собой бесцветный газ без запаха и вкуса. Он является продуктом неполного сгорания углеродсодержащих соединений, в частности в двигателях внутреннего сгорания. Угарный газ образуется в процессе горения вместо более привычного углекислого газа при недостатке кислорода. Угарный газ обладает значительной топливной ценностью, горит на воздухе характерным синим пламенем, образуя углекислый газ. Несмотря на свою серьезную токсичность, CO играет очень важную роль в современных технологиях, являясь предшественником множества продуктов [7].

Для снижения загрязнения атмосферного воздуха автомобильными выхлопными газами можно использовать различные стратегии и решения (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Подходы к борьбе с загрязнением атмосферного воздуха

Подход к борьбе с загрязнением воздуха автомобилями	Суть подхода
Переход на электромобили	Электромобили не выделяют выхлопных газов, сокращая выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу. Поощрение использования электромобилей с помощью стимулов, субсидий и развития инфраструктуры для зарядки может помочь снизить загрязнение окружающей среды автомобилями
Повышение топливной экономичности	Внедрение более строгих стандартов экономии топлива и продвижение технологий, позволяющих его экономить, могут значительно снизить уровень загрязнения окружающей среды традиционными транспортными средствами с двигателями внутреннего сгорания. К таким достижениям относятся гибридные транспортные средства, легкие материалы и более эффективные двигатели
Общественный транспорт и активный транспорт	Поощрение использования общественного транспорта, такого как автобусы и поезда, может сократить количество автомобилей на дорогах, тем самым уменьшив загрязнение окружающей среды. Кроме того, популяризация активного транспорта, такого как пешие прогулки и езда на велосипеде, может помочь сократить использование автомобилей для коротких поездок
Стандарты выбросов автомобилей	Внедрение и соблюдение строгих стандартов выбросов может помочь регулировать уровень загрязнения, производимого транспортными средствами. Это включает в себя установление ограничений на выбросы загрязняющих веществ, таких как оксиды азота и твердые частицы, а также требование регулярных проверок на выбросы

Определение концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе населенных пунктов проводится с целью получения информации в рамках расчетного мониторинга состояния городской среды.

Задание

Рассчитать коэффициент токсичности автомобильных выбросов в атмосферный воздух по окиси углерода.

Определить по таблицам коэффициенты, учитывающие аэрацию местности, продольный уклон местности, скорость ветра, влажность воздуха, пересечение улиц.

Определить K_{CO} – уровень загрязнения атмосферы воздуха оксидом углерода.

Сравнить с ПДК автотранспорта по оксиду углерода.

Определить возможные мероприятия по снижению уровня выбросов.

Формула оценки концентрации окиси углерода:

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot N \cdot K_T) \cdot K_A \cdot K_U \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II},$$

где 0,5 – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м³; N – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, автом./ч; K_T – коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода; K_A – коэффициент, учитывающий аэрацию местности; K_U – коэффициент, учитывающий изменения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона; K_C – коэффициент, учитывающий изменения концентрации углерода в зависимости от скорости ветра; K_B – то же относительно влажности воздуха; K_{II} – коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Коэффициент токсичности автомобилей определяется как средневзвешенный для потока автомобилей по формуле

$$K_T = \sum P_I \cdot K_{TI},$$

где P_I – состав движения в долях единиц; K_{TI} – значение определяется по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Данные для определения коэффициента в зависимости от типа автомобиля

Тип автомобиля	Коэффициент K_{TI}
Легкий грузовой транспорт (ЛГ)	2,3
Средний грузовой транспорт (СГ)	2,9
Тяжелый грузовой (дизельный) транспорт (ТГ)	0,2
Автобус (А)	3,7
Легковой автомобиль (ЛА)	1,0

Значение коэффициента K_A , учитывающего аэрацию местности, определяется по табл. 4.3.

Таблица 4.3

Данные для определения коэффициента в зависимости от типа местности по степени аэрации

Тип местности по степени аэрации	Коэффициент K_A
Магистральные улицы и дороги с многоэтажной застройкой с двух сторон (МУ)	1,0
Жилые улицы с одноэтажной застройкой с двух сторон и дороги в выемке (ЖУ)	0,6
Городские улицы и дороги с односторонней застройкой, набережные, эстакады, виадуки, высокие насыпи (ГУ)	0,4

Значение коэффициента K_y , учитывающего изменение загрязнения воздуха окисью углерода, в зависимости от величины продольного уклона определяем по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Данные для определения коэффициента в зависимости от продольного уклона

Продольный уклон, °	Коэффициент K_y
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

Коэффициент изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра K_C определяется по табл. 4.5.

Таблица 4.5

Данные для определения коэффициента в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Коэффициент K_C
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,00

Значение коэффициента K_B , определяющего изменения концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха, приведено в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Данные для определения коэффициента в зависимости от влажности воздуха

Относительная влажность воздуха, %	Коэффициент K_B
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75
40	0,60

Коэффициент увеличения загрязнения воздуха окисью углерода у пересечений приведен в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Данные для определения коэффициента в зависимости от типа пересечения

Тип пересечения	Коэффициент $K_{\text{п}}$
Регулируемое пересечение:	
– светофорами обычное (С. о.);	1,8
– светофорами управляемое (С. у.);	2,1
– саморегулируемое (С.)	2,0
Нерегулируемое:	
– со снижением скорости;	1,9
– кольцевое (К.);	2,2
– с обязательной остановкой	3,0

Пример выполнения расчета.

Условия: магистральная улица города с многоэтажной застройкой с двух сторон, продольный уклон 20° , скорость ветра 4 м/с, относительная влажность воздуха 70 %. Расчетная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях – 500 автомашин в час (N). Состав движения: 10 % грузовых автомобилей с малой грузоподъемностью; 10 % – со средней грузоподъемностью; 5 % – с большой грузоподъемностью и дизельными двигателями; 5 % автобусов; 70 % легковых автомобилей.

Подставив значения согласно заданию, получаем

$$K_T = 0,1 \cdot 2,3 + 0,1 \cdot 2,9 + 0,05 \cdot 3,7 + 0,7 \cdot 1 = 1,41.$$

Подставим значение коэффициентов, оценим уровень загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода (табл. 4.8):

$$K_{\text{CO}} = (0,5 + 0,01 \cdot 500 \cdot 1,4) \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 1,20 \cdot 1,00 = 8,96 \text{ мг/м}^3.$$

ПДК автотранспорта по окиси углерода равно 5 мг/м^3 .

В нашем случае $8,96 / 5 = 1,8$, т. е. наблюдается превышение ПДК в 1,8 раза.

Исходные данные

N	Грузовой, %			А, %	ЛА, %	Уклон	Скорость ветра	Относитель- ная влажность воздуха, %	Тип пе- ресече- ния	Тип местно- сти
	ЛГ, %	СГ, %	ТГ, %							
500	10	10	20	5	55	0	1	100	С. о.	МУ
400	5	5	10	10	70	2	2	90	С. у.	ЖУ
300	10	5	10	10	65	4	3	80	К.	ГУ
200	10	10	20	10	50	6	4	70	К.	МУ
600	5	5	10	20	60	8	5	60	С.	ЖУ
550	10	10	20	5	55	0	6	50	С. у.	ГУ
450	5	5	10	10	70	2	1	40	С. о.	МУ
350	10	5	10	10	65	4	2	100	К.	ЖУ
470	10	10	20	30	50	6	3	90	К.	ГУ
480	10	20	5	20	45	8	4	80	С.	МУ
270	20	10	5	20	45	0	5	70	С.	ЖУ
210	10	10	20	5	55	2	6	60	К.	ГУ
260	5	5	10	10	70	4	1	50	К.	МУ
270	10	5	10	10	65	6	2	40	С.	ЖУ
340	10	10	20	5	55	8	3	100	С.	ГУ

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные подходы к борьбе с загрязнением атмосферного воздуха автомобильным транспортом.
2. Какие загрязняющие вещества включают в себя выбросы от автомобильного транспорта?
3. Что такое ПДК?

Практическая работа № 5

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ГОРОДСКИХ ПОЧВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Цель: оценить уровень загрязнения почв тяжелыми металлами.

Время выполнения: 4 часа (аудиторная работа – 2 ч, СРО – 2 ч).

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Загрязнение почвы – это поступление в почву вредных веществ, в том числе химикатов, отходов и побочных продуктов промышленности. Оно представляет серьезную угрозу для сельского хозяйства, экосистем и здоровья человека. Основными причинами загрязнения почвы являются промышленная деятельность, использование сельскохозяйственных химикатов и неправильное обращение с отходами. Такое загрязнение нарушает естественный состав почвы, влияя на ее плодородие и пригодность для использования, что является серьезной экологической проблемой [8].

Перечислим основные причины загрязнения почв.

1. Методы ведения сельского хозяйства. Чрезмерное использование пестицидов и удобрений приводит к попаданию вредных химических веществ в почву. Загрязнение гербицидами (например, триазины, карбаматы) и инсектицидами (например, фосфорорганические соединения).

2. Промышленная деятельность. Промышленные выбросы и сбросы. Добыча полезных ископаемых: извлечение минералов приводит к накоплению таких металлов, как мышьяк, ртуть и свинец в близлежащих почвах.

3. Неправильное обращение с отходами. Твердые отходы: пластик, электронные и медицинские отходы содержат долгоживущие токсины, попадающие в почву. Неправильное размещение промышленных отходов загрязняет почву тяжелыми металлами, углеводородами и диоксинами. Химический выщелачивающий раствор: токсичные соединения просачиваются в почву с несанкционированных свалок.

4. Естественные процессы. Кислотные дожди: загрязняющие вещества в дождевой воде изменяют pH почвы и снижают содержание питательных веществ. Перхлораты: природные химические вещества, которые накапливаются в засушливых экосистемах при определенных условиях [9].

Токсичные элементы, в том числе тяжелые металлы, в почве через трофическую цепь поступают в растения, а затем потребляются животными и человеком.

Мышьяк – 20-й по распространенности элемент на Земле и 33-й в периодической таблице. Попадает в почву с продуктами сгорания угля, с отходами металлургической промышленности, с предприятий по производству удобрений. Неорганические формы, такие как соединения мышьяка и арсенаты, смертельны для людей и других организмов в окружающей среде. Мышьяк вызывает множество осложнений в различных системах организма: кожной, нервной, дыхательной, сердечно-сосудистой, кроветворной, иммунной, эндокринной, печени, почках, репродуктивной системе [10].

Свинец – один из самых распространенных и полезных металлов, известных человеку, его можно обнаружить во всех средах и биологических системах. Свинец содержится в аккумуляторах, керамике, консервных банках, сигаретном окурке, выхлопных газах автомобилей и т. д. Токсическое воздействие свинца на организм человека включает в себя нарушения в следующих системах: пищеварительной, центральной нервной и кровеносной.

Цинк – это голубовато-белый или серебристый металл, который содержится в земной коре. Он используется в производстве различных сплавов, таких как латунь, алюминиевые и магниевые сплавы, которые применяются в строительной отрасли и производстве электромобилей. Кроме того, этот металл может попадать в окружающую среду через текстильную и хлопковую, аккумуляторную, резиновую, лакокрасочную, косметическую, медицинскую промышленность и производство удобрений. Цинк относится к микроэлементам организма, отравление которым приводит к множеству последствий для различных органов. Некоторые из негативных последствий накопления цинка в организме: отравление, лихорадка, спутанность сознания, тошнота, рвота и диарея.

Медь – один из наиболее широко используемых металлов в промышленности. Она применяется в таких отраслях, как электроника (в проводах, электронно-лучевых трубках, интегральных схемах, вакуумных лампах, переключателях и электронных усилителях), военная промышленность (производство

оружия), металлургия (производство сплавов и чеканка монет). Медь используется при производстве инструментов, очистке воды, в качестве реагента в химических реакциях, в сельскохозяйственных пестицидах. Растворимые соединения меди могут быть вредны для здоровья человека. Обычно она попадает в окружающую среду в виде водорастворимых соединений после сельскохозяйственных работ. Этот металл обычно встречается вблизи шахт, промышленных предприятий и мест захоронения отходов. Медь не разлагается в окружающей среде и по этой причине, находясь в почве, она накапливается в растениях и животных. Большое количество меди в организме человека может вызвать острые симптомы, такие как дискомфорт в пищеварительной системе, повреждение кровеносной системы, а также анемию [11].

Хром – твердый блестящий металл серого цвета с высокой температурой кипения и устойчивостью к ржавчине и потускнению. Он оказывает вредное воздействие на физиологические процессы в растениях, такие как фотосинтез, водный обмен и минеральное питание, прирост, рост и развитие корней и листьев. Метаболические изменения, вызываемые хромом в растениях, происходят либо непосредственно в ферментах и растительных метаболитах, либо посредством образования активных форм кислорода, которые вызывают окислительный стресс. Большое количество хрома в организме человека приводит к кожному зуду, язве желудка, проблемам с дыхательной системой, ослаблению иммунной системы организма, повреждению почек и печени, изменению генетического материала.

Основные источники загрязнения кадмием являются лесные пожары, извержения вулканов и деятельность человека, например, выщелачивание промышленных отходов, производство синтетических фосфатных удобрений. В основном этот элемент используется в качестве стабилизатора и пигмента в производстве пластмасс и электролиза, но чаще всего для пайки и в качестве сплава в никель-кадмиевых батареях. Этот элемент применяется в промышленности в качестве антифрикционного материала, катализатора, средства против ржавчины или в составе сплавов. Кадмий также используется в полупроводниках для защиты стержней в ядерных реакторах, при металлизации, производстве керамики, на заводах по производству ПВХ и пластмасс, при производстве аккумуляторов, фунгицидных соединений, моторного масла, резины. Серьезное заболевание, вызываемое кадмием у людей, называется ревматическая болезнь или болезненная деформация скелета. Кадмий

поражает в основном легкие, почки и кости. Острые последствия вдыхания кадмия включают бронхит, пневмонию и отравление печени [12, 13].

Кобальт – это микроэлемент, содержащийся в почве в относительно небольших количествах. Известно, что он участвует в метаболизме растений. Загрязнение почвы кобальтом в основном происходит в результате антропогенной деятельности, такой как сжигание угля, нефти и при производстве сплавов кобальта. Высокая концентрация кобальта в почве негативно влияет на рост растений.

Марганец – это металл с высоким окислительно-восстановительным потенциалом, который может участвовать в биологических реакциях окисления. Избыток марганца в организме приводит к головным болям, проблемам со зрением, бессоннице, потере памяти, дрожанию рук, чувству тревоги, мышечным спазмам.

Существует ряд методов, позволяющих восстановить исходное состояние почв. Методы восстановления представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Методы восстановления почв

Методы	Способ	Краткий обзор
Инженерная рекультивация	Замена загрязненной почвы	Подразумевает добавление большого количества чистой почвы, чтобы покрыть загрязненную поверхность почвы или смешать ее с загрязненной
	Удаление грунта и изоляция	Предполагает удаление загрязненной почвы и замену ее чистой. Этот метод необходим для сильно загрязненной почвы на небольшой территории
	Электрокинетическое восстановление	В этом методе используется принцип постоянного напряжения для создания градиента электрического поля со всех сторон электролитического резервуара, в котором находится загрязненная почва. Загрязняющие вещества в почве переносятся в помещение для обработки, расположенное на двух полюсах электролитической ячейки, с помощью электрической миграции, электрической просачиваемости или электрофореза, что позволяет уменьшить загрязнение. Этот метод хорошо работает с почвой с низкой проницаемостью
	Выщелачивание почвы	Предполагает очистку загрязненной почвы с помощью определенных реагентов, которые удаляют комплексы тяжелых металлов и растворенное железо, адсорбированное на твердых частицах. Тяжелые металлы, удаленные этим методом, затем извлекаются из экстрагирующего раствора
	Адсорбция	Фиксация и адсорбция глинистыми минералами, например бентонитом, цеолитом и т. д.

Таблица 5.1

Методы	Способ	Краткий обзор
Биоремедиация	Фиторемедиация	Предполагает выращивание определенных растений в загрязненной почве, например, крестоцветных, таких как род «капуста», «алиссум» и т. д.
	Микробиологическая реабилитация	Предполагает использование нескольких микроорганизмов (бактерий, архей и грибов) для поглощения, осаждения, окисления и восстановления тяжелых металлов в почве

Задание

1. Рассчитать коэффициент концентрации химического вещества (K_C). Загрязнение почвы определяется коэффициентом концентрации химического вещества (K_C), который является отношением его реального содержания в почве (C) к ПДК ($C_{\text{ПДК}}$):

$$K_C = \frac{C}{C_{\text{ПДК}}}.$$

2. Рассчитать суммарный показатель загрязнения (Z_C), отражающий эффект воздействия группы элементов по формуле

$$Z_C = \sum K_C - (n - 1),$$

где n – число суммируемых элементов.

Нормирование содержания тяжелых металлов в почве и растениях является чрезвычайно сложным из-за невозможности полного учета всех факторов природной среды. При загрязнении несколькими тяжелыми металлами степень загрязнения оценивается по величине суммарного показателя концентрации Z_C .

3. Определить категорию загрязнения почвы, используя табл. 5.2, 5.3.

Таблица 5.2

Схема оценки почв по степени загрязнения химическими веществами

Категория почв по степени загрязнения	Z_c	Загрязненность относительно ПДК	Возможное использование почв	Изменение показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Превышает фоновое значение, но не выше ПДК	Использование под любые культуры	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений
Умеренно опасная	16,1–32	Превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном и миграционном водном показателе вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Использование под любые культуры при условии контроля качества продукции растениеводства	Увеличение общего уровня заболеваемости
Высокоопасная	32,1–128	Превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Использование под технические культуры	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128,1	Превышает ПДК по всем показателям	Исключение из сельскохозяйственного использования	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение патологических изменений при рождении детей)

4. В результате аварийного сброса сточных вод, в которых содержался свинец ($M_{\text{свинца}}$), был загрязнен земельный участок. Необходимо сделать вывод о возможности использования молока коз, которые паслись на данном участке, если на каждом звене пищевой цепи происходит накопление токсичных веществ в 10-кратном размере. ПДК свинца в молоке составляет 0,1 мг/кг. Объемный вес (плотность) почвы (ρ) принять равным 1 000 кг/м³. Для этого необходимо определить массу почвы ($M_{\text{почвы}}$), загрязненной сточными водами, по формуле

$$M_{\text{почвы}} = S \cdot h \cdot \rho.$$

Затем определить концентрацию свинца в почве:

$$C_{\text{свинца в почве}} = M_{\text{свинца}} / M_{\text{почвы}}$$

Далее необходимо составить схему изменения концентрации свинца в пищевой цепи «почва – трава – коза», определить концентрацию свинца в молоке и сравнить с ПДК. Используя источники самостоятельного информационного поиска, охарактеризовать влияние свинца на организм человека [14].

Таблица 5.3

Исходные данные

Вариант	Масса свинца в почве, г	Площадь участка, м ²	Глубина распространения свинца, м
1	30	500	0,25
2	10	1 000	0,5
3	5	1 500	0,7
4	20	790	0,9
5	25	1 200	0,3
6	7	2 100	0,8
7	30	1 300	0,3
8	5	850	0,4
9	12	750	0,5
10	35	2 500	1
11	14	1 800	0,2
12	27	450	0,1
13	16	900	1,2
14	23	1 200	0,4
15	35	1 100	0,9

Контрольные вопросы

1. Что такое загрязнение почвы?
2. Перечислите основные причины загрязнения почвы.
3. Назовите методы восстановления почв и дайте их краткую характеристику.
4. Как рассчитывается суммарный показатель загрязнения почв?

Практическая работа № 6

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Цель работы: научиться использовать методику оценки экономического ущерба от загрязнения водоемов.

Время выполнения: 6 часов (аудиторная работа – 3 ч, СРО – 3 ч).

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Наиболее сильными и опасными источниками негативного воздействия на природу являются промышленные объекты. Любое промышленное предприятие в определенной степени изменяет экосистему, природные комплексы частично или полностью утрачивают прежние свойства. Воздействие предприятий на окружающую среду имеет комплексный характер и происходит в виде выбросов в атмосферу, сбросов в гидросферу и литосферу. Каждое из этих воздействий характеризуется собственными качественными и количественными показателями.

Главной составляющей процесса индустриализации является экологический ущерб [15].

Ущерб от загрязнения окружающей среды может рассматриваться в нескольких аспектах – экономическом, социальном, экологическом, моральном. Оценка экономического ущерба имеет большую теоретическую базу в экономической науке и широкое практическое применение, при этом наибольшую трудность вызывает определение междисциплинарных типов ущерба. В данной области рассматривается взаимодействие экономических и экологических показателей, т. е. изменение экономических показателей в результате изменения экологических параметров среды.

На качество воды в водоемах могут оказывать влияние следующие факторы: сброс недостаточно очищенных промышленных и бытовых сточных вод; поверхностный сток с территорий водосборов в результате

выпадения атмосферных осадков; смыв токсичных веществ с сельскохозяйственных угодий; водный транспорт и лесосплав; безвозвратный забор стока выше предельно допустимых норм. Для экономической оценки потерь, возникающих в результате загрязнения водных объектов, должны быть установлены зависимости между степенью загрязненности и ущербом, вызываемым этими явлениями.

Под ущербом от загрязнения водной среды и водного фонда территорий понимаются материальные и финансовые потери и убытки (прямые и косвенные), возникшие в результате снижения биопродуктивности водных экосистем, ухудшения потребительских свойств воды как природного ресурса, дополнительных затрат на ликвидацию последствий загрязнения вод и восстановление их качества, а также выраженный в стоимостной форме вред здоровью населения.

Необходимо оценивать три вида экономического ущерба от загрязнения водных сред: возможный, фактический и предотвращаемый.

Возможный ущерб возникает из-за отсутствия мероприятий по защите водных объектов от загрязнения и трактуется как потери трудовых, материальных и финансовых ресурсов, связанные с дополнительными затратами на воспроизводство потребительских стоимостей.

Фактический (остаточный) ущерб наблюдается даже при осуществлении специальных водоохранных мероприятий и трактуется как потери потребительских стоимостей, измеряемых дополнительными затратами на компенсацию потерь.

Предотвращаемый ущерб – это разность между возможным и фактическим ущербами, определяемая дополнительными затратами на мероприятия, которые не устраняют самой причины загрязнения.

Экологический результат заключается в снижении отрицательного воздействия на водные ресурсы и улучшении их состояния.

Очистка сточных вод – их обработка с целью разрушения или удаления из них вредных веществ. Освобождение сточных вод от загрязнения – сложное производство. В нем, как и в любом другом производстве, имеется сырье (сточные воды) и готовая продукция (очищенная вода).

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, химические, физико-химические и биологические; когда же они применяются вместе,

то метод очистки и обезвреживания сточных вод называется комбинированным. Применение того или иного метода в каждом конкретном случае определяется характером загрязнения и степенью вредности примесей [16].

Сущность механического метода состоит в том, что из сточных вод путем отстаивания и фильтрации удаляются механические вещества. Грубодисперсные частицы в зависимости от размеров улавливаются решетками, ситами, песколовками, септиками, навозоуловителями различных конструкций, а поверхностные загрязнения – нефтеловушками, бензомаслоуловителями, отстойниками и др. Механическая очистка позволяет выделять из бытовых сточных вод до 60–75 % нерастворимых примесей, а из промышленных – до 95 %, многие из которых используются в производстве как ценные примеси.

Химический метод заключается в том, что в сточные воды добавляют различные химические реагенты, которые вступают в реакцию с загрязнителями и осаждают их в виде нерастворимых осадков. Химической очисткой достигается уменьшение нерастворимых примесей до 95 % и растворимых – до 25 %.

При физико-химическом методе обработки из сточных вод удаляются тонкодисперсные и растворенные неорганические примеси и разрушаются органические и плохо окисляемые вещества. Чаще всего из физико-химических методов применяется коагуляция, окисление, сорбция, экстракция и т. д. Широкое применение находит также электролиз. Он заключается в разрушении органических веществ в сточных водах и извлечении металлов, кислот и других неорганических веществ. Электролитическая очистка осуществляется в особых сооружениях – электролизерах. Очистка сточных вод с помощью электролиза эффективна на предприятиях – производителях свинца и меди, в лакокрасочной и некоторых других областях промышленности.

Загрязненные сточные воды очищают также с помощью ультразвука, озона, ионообменных смол и высокого давления; хорошо зарекомендовала себя очистка путем хлорирования.

Среди методов очистки сточных вод большую роль играет биологический, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и других водоемов. Есть несколько типов биологических устройств по очистке сточных вод: биофильтры, биологические пруды и аэротенки.

В биофильтрах сточные воды пропускаются через слой крупнозернистого материала, покрытого тонкой бактериальной пленкой. Благодаря этой пленке интенсивно протекают процессы биологического окисления. Именно она служит действующим началом в биофильтрах.

В биологических прудах в очистке сточных вод принимают участие все организмы, населяющие водоем.

Аэротенки – огромные резервуары из железобетона. Здесь очищающее начало – активный ил из бактерий и микроскопических животных. Все эти живые существа бурно развиваются в аэротенках, чему способствуют органические вещества сточных вод и избыток кислорода, поступающего в сооружение потоком подаваемого воздуха. Бактерии склеиваются в хлопья и выделяют ферменты, минерализующие органические загрязнения. Ил с хлопьями быстро оседает, отделяясь от очищенной воды. Инфузории, жгутиковые, амёбы, коловратки и другие мельчайшие животные, пожирая бактерии, не слипающиеся в хлопья, омолаживают бактериальную массу ила.

Сточные воды перед биологической очисткой подвергают механической, а после нее для удаления болезнетворных бактерий – химической очистке, обработке жидким хлором или хлорной известью. Для дезинфекции используют также другие физико-химические приемы (ультразвук, электролиз, озонирование и др.). В настоящее время наиболее активно используется метод ультрафиолетового обеззараживания.

Биологический метод дает большие результаты при очистке коммунально-бытовых стоков. Он применяется также и при очистке отходов предприятий нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, при производстве искусственного волокна.

Опираясь на методику укрупненной оценки экономического ущерба от загрязнения водоемов, определяется экологический ущерб и экономическая эффективность проведения водоохранных мероприятий.

Экономический ущерб Y (руб./год) от сброса примесей в водохозяйственный участок некоторым источником определяется по формуле

$$Y = \gamma \cdot \sigma_k \cdot M,$$

где γ – множитель, численное значение которого равно 4 000 (руб./усл. т); σ_k – константа (безразмерная), зависящая от водохозяйственного участка,

некоторые значения приведены в табл. 6.1; M – приведенная масса годового сброса примесей (усл. т/год).

Величина M определяется по формуле

$$M = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_i ,$$

где i – номер сбрасываемой смеси; N – число примесей; A – показатель относительной опасности сброса i -го вещества в водоемы (усл. т/т); m_i – фактическая масса годового сброса i -й примеси, т/год.

Таблица 6.1

Значение безразмерной константы σ_k для некоторых водоохранных участков

Номер участка	Наименование бассейнов рек и створов	Административный состав участка	σ_k
1	Печера (устье)	Республика Коми без юго-западной части; Ненецкий автономный округ, южная часть	0,18
3	Нева (устье)	Республика Карелия, крайняя южная часть; Ленинградская обл., без западной части; Псковская обл., без восточной области	0,47
14	Волга (устье р. Оки)	Орловская обл., центральная часть; Калужская обл., без западной части	2,60
33	Обь (Новосибирск)	Алтайский край, Новосибирская обл., юго-восточная часть	0,34
34	Обь (устье р. Томь)	Новосибирская обл., восточная часть; Томская обл., южная часть	0,92
36	Обь (устье р. Иртыш)	Тюменская обл., южная часть	1,00
55	Онежское озеро	Республика Карелия, центральная и восточная части	0,20
39	Обь (устье)	Ямало-Ненецкий автономный округ	0,12
42	Енисей (устье)	Красноярский край, центральная и северная части	0,11
43	Селенга (устье)	Центральная часть; Забайкальский край, небольшая юго-западная часть	0,28

Численное значение величины A_i для каждого загрязняющего вещества определяется по формуле, усл. т/т:

$$A_i = 1 / \text{ПДК}_i,$$

где ПДК_i – ПДК i -го вещества в воде объектов рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого или культурно-бытового назначения (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Значение ПДК для водных объектов рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого или культурно-бытового назначения

Вещество	ПДК, г/м ³
Взвешенные вещества	20
БПК _{полн.}	3,0
Нефть и НП	0,05
Масла минеральные	0,01

Пример расчета экономической эффективности проведения водоохранных мероприятий

Определить экономический эффект и общую экономическую эффективность защиты водоема от загрязнения сточными водами завода, расположенного в г. Новосибирске (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Исходные данные

Вещество	До проведения комплекса водоохранных мероприятий, мг/л	После установки очистных сооружений, т/м ³
Взвешенные вещества	800	80
БПК _{полн.}	140	15
Нефть и нефтепродукты	230	25
Масла минеральные	23	2,5

Капиталовложения строительства очистных сооружений (К) по предварительным подсчетам составляют 1 300 тыс. рублей, текущие затраты (С) на их эксплуатацию – 500 тыс. руб./год. Среднеустойчивый сброс сточных вод (w) 490 м³. Содержание загрязнителей (К), мг/л.

Годовой сброс сточных вод (W) определяется по формуле

$$W = w \cdot \text{количество дней в году.}$$

В нашем случае

$$W = 490 \cdot 365 = 179 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Значение приведенной массы годового сброса примесей определяется по формуле

$$M = \Sigma(A_i \cdot K_i \cdot W),$$

где K_i – концентрация i -го вещества, т/м³.

Расчет приведенной массы годового сброса загрязняющих веществ сводим в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Расчет приведенной массы годового сброса загрязняющих веществ

Название вещества	K_i		A_i , усл. т/т	W , м³/год	M_i , т/год
	мг/л	т/м³			
До проведения комплекса водоохранных мероприятий					
Взвешенные ве- щества	800	$0,8 \cdot 10^{-3}$	0,05	$179 \cdot 10^3$	7,16
БПК полн.	140	$0,14 \cdot 10^{-3}$	0,33	$179 \cdot 10^3$	8,27
Нефть и нефте- продукты	230	$0,23 \cdot 10^{-3}$	20	$179 \cdot 10^3$	823,40
Масла мине- ральные	23	$0,023 \cdot 10^{-3}$	100	$179 \cdot 10^3$	411,70
$M_1 = \sum M_i$					1 250,53
Последствия проведения комплекса водоохранных мероприятий					
Взвешенные вещества	80	$0,08 \cdot 10^{-3}$	0,05	$179 \cdot 10^3$	0,72
БПК полн.	15	$0,015 \cdot 10^{-3}$	0,33	$179 \cdot 10^3$	0,89
Нефть и нефте- продукты	25	$0,025 \cdot 10^{-3}$	20	$179 \cdot 10^3$	89,50
Масла минеральные	2,5	$0,0025 \cdot 10^{-3}$	100	$179 \cdot 10^3$	44,75
$M_2 = \sum M_i$					135,86

Определяем годовую оценку ущерба до (Y_1) и после (Y_2) проведения водоохранных мероприятий на рассматриваемом участке по формулам

$$Y_1 = \gamma \cdot \sigma_k \cdot M_1 = 4\,000 \cdot 0,34 \cdot 1\,250,53 = 1\,700\,720,8 \text{ руб./год};$$

$$Y_2 = \gamma \cdot \sigma_k \cdot M_2 = 4\,000 \cdot 0,34 \cdot 135,86 = 184\,769,6 \text{ руб./год.}$$

Определяем экономическую эффективность проведения запланированных водоохранных мероприятий с учетом данных по капитальным вложениям и текущим затратам.

Результаты расчета сводим в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Результаты расчета

Показатели	Символ, формула	Единица измерения	Значение
Ущерб от сброса загрязнений в водоем до проведения водоохранных мероприятий	$Y_1 = \gamma \cdot \sigma_k \cdot M_1$	руб./год	1 700 720,8
Ущерб от сброса загрязнений в водоем после проведения водоохранных мероприятий	$Y_2 = \gamma \cdot \sigma_k \cdot M_2$	руб./год	184 769,6
Предотвращенный ущерб	$\Pi = Y_1 - Y_2$	руб./год	1 515 951,2
Экономический результат	$P = \Pi + D^*$	руб./год	1 515 951,2
Капиталовложения	K	руб./год	1 300 000
Эксплуатационные расходы	C	руб./год	500 000
Приведенные затраты	$З = C + 0,12 \cdot K$	руб./год	656 000
Чистый экономический эффект	$R = P - З$	руб./год	515 950,2
Экономическая эффективность капитальных вложений	$\Theta = (P - C) / K$	год ⁻¹	0,78

Примечание. D^* – доход; $D = 0$.

Поскольку $R > 0$, то оцениваемый комплекс водоохранных мероприятий экономически целесообразен.

Объект считается экономически эффективным, если срок окупаемости не превышает 8 лет. При таком сроке окупаемости экономическая эффективность (Θ_n – нормативная эффективность) равна 0,12 год⁻¹.

В нашем случае экономическая эффективность капитальных вложений ($\Theta = 0,78$ год⁻¹) больше нормативной, следовательно, мероприятия экономически эффективны.

Задание

Выполните самостоятельно расчет экономической эффективности водоохранных мероприятий завода.

Варианты исходных данных для определения экономической эффективности водоохранных мероприятий приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Варианты исходных данных

Показатель	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номер водохозяйственного участка	1	3	14	33	34	36	55	39	42	43	14	55	39	1	33
Расход сточных вод, м ³ /сут.	280	260	530	480	310	370	430	550	410	400	460	520	380	560	300
К, тыс. руб.	800	1400	1800	1000	1500	1200	1300	1100	1600	1400	900	1700	700	2000	1900
С, тыс. руб.	200	600	900	250	500	400	450	300	600	500	200	850	100	950	900
Концентрация загрязнений в сточных водах, мг/л (до проведения комплекса водоохранных мероприятий)															
Взвешенные вещества	510	710	830	760	930	760	810	730	960	910	500	700	820	750	920
БПК полн.	660	570	650	710	810	530	760	730	960	810	650	560	640	700	800
Нефть и нефтепродукты	160	220	260	310	160	210	190	110	210	190	150	210	250	290	150
Масла минеральные	30	40	50	40	55	45	35	40	40	45	20	30	40	30	45
Концентрация загрязнений в сточных водах, мг/л (после проведения комплекса водоохранных мероприятий)															
Взвешенные вещества	70	90	105	100	110	95	110	130	110	110	60	80	95	90	100
БПК полн.	60	70	85	90	110	70	100	130	110	110	50	60	75	80	100
Нефть и нефтепродукты	30	26	40	40	30	35	30	25	30	30	20	16	30	30	20
Масла минеральные	4	5	11	5	5	4	3	3	4	5	3	4	10	4	4

Контрольные вопросы

1. В каких аспектах рассматривается ущерб от загрязнения окружающей среды?
2. Назовите факторы, оказывающие влияние на качество воды в водоемах.
3. Раскройте понятие ущерба от загрязнения водной среды и водного фонда территорий.
4. Три вида экономического ущерба (перечислить).
5. Очистка сточных вод и методы очистки (объясните их суть).

Практическая работа № 7

РАСЧЕТ ОБЪЕМА ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Цель: приобретение навыков расчета емкости полигона твердых коммунальных отходов.

Время выполнения: 4 часа (аудиторная работа – 2 ч, СРО – 2 ч).

Оборудование: калькулятор.

Краткие теоретические сведения

Отходы производства и потребления – вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с федеральным законом N 89 [17].

Твердые коммунальные отходы (ТКО) – отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами.

Класс опасности отходов представлен на рис. 7.1.

Полигоны – комплексы природоохранных сооружений, предназначенные для складирования, изоляции и обезвреживания ТКО, обеспечивающие защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующие распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов.

Мощность полигона – количество захораниваемых отходов.

Ложе полигона – нижняя часть полигона, контактирующая с почвой, состоящая из основания и стенок.

Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) включает перечень видов отходов, находящихся в обращении в Российской

Федерации и систематизированных по совокупности классификационных признаков: происхождению, условиям образования (принадлежности к определенному производству, технологии), химическому и (или) компонентному составу, агрегатному состоянию и физической форме (рис. 7.2).

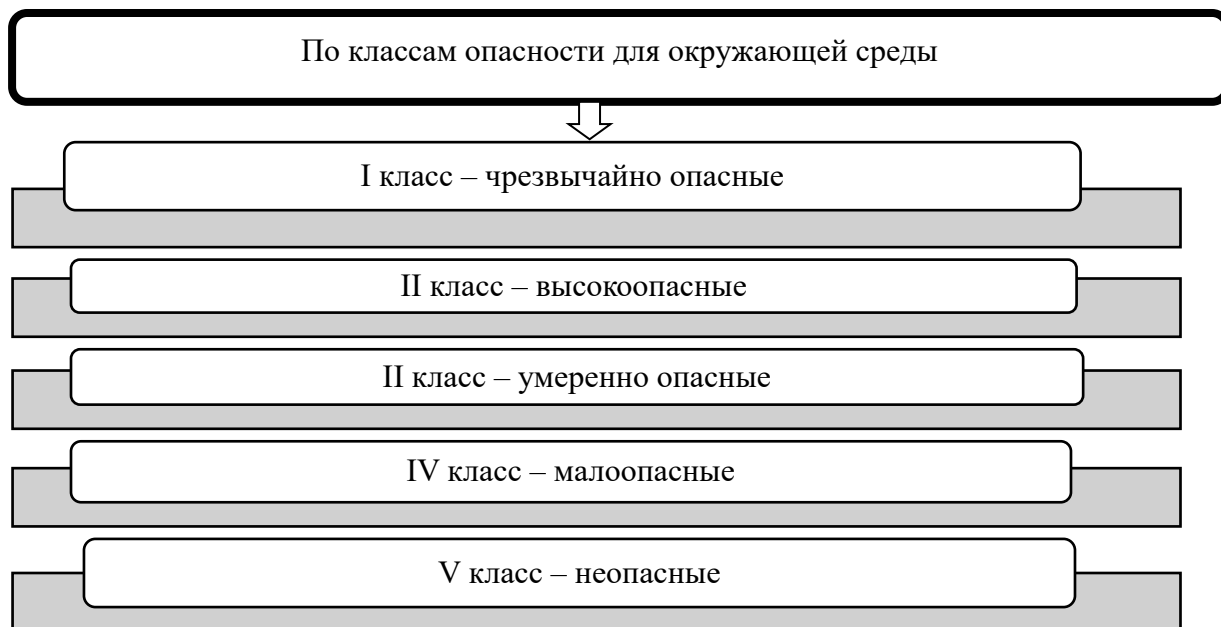


Рис. 7.1. Классификация отходов по классам опасности

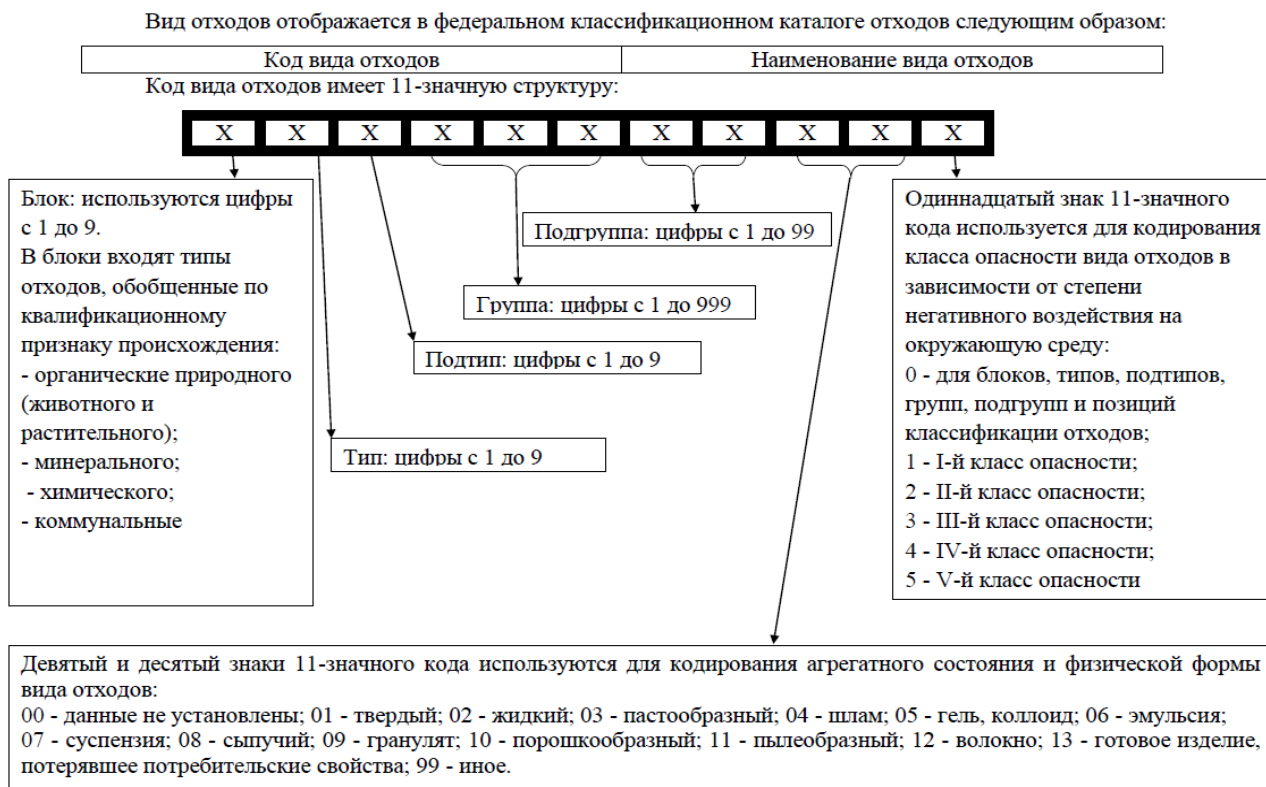


Рис. 7.2. Федеральный классификационный каталог отходов

Задание

1. Необходимо произвести расчет высоконагружаемого полигона твердых коммунальных отходов для условного города. При расчетах учитывается, что рост урбанизации в России сохранится и население этого города через 15–20 лет возрастет. При этом тенденция роста образования отходов на душу населения продолжится.

Первый этап расчета – определение общей вместительности полигона ТКО E_T , m^3 , на весь срок его эксплуатации.

$$E_T = \frac{Y_1 + Y_2}{2} + \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot T \cdot \frac{K_2}{K_1},$$

где Y_1 – удельный норматив образования коммунальных отходов на 1 человека в год, составляющий в Новосибирской области $2,38 m^3 / \text{чел. год}$ (норматив утвержден приказом Департамента по тарифам Новосибирской области № 342-ЖКХ от 20 октября 2017 г.); Y_2 – образование коммунальных отходов на 1 человека через T лет; N_1 – численность населения города на момент проектирования, чел.; N_2 – прогнозируемая численность населения города через T лет, чел.; T – расчетный срок эксплуатации полигона, лет; K_1 – коэффициент, учитывающий уплотнение засыпанных ТКО в процессе эксплуатации полигона за период $T \geq 15$ лет. Величину K_1 определяют по табл. 7.1 в зависимости от проектной высоты H_n ; K_2 – коэффициент, учитывающий объем изолирующих слоев грунта. В зависимости от H_{n1} значение K_2 принимают по табл. 7.2.

Таблица 7.1

Данные для определения коэффициента в зависимости от проектируемой высоты полигона

Проектируемая высота полигона H_{n1} , м	K_1
< 10	3,7
10–30	4,0
Более 30	4,5

Таблица 7.2

Данные для определения коэффициента в зависимости от объема
изолирующих слоев грунта

Проектная высота полигона H_{n1} , м	< 5,0	5,1–7,0	7,1–9	9,1–12,0	12,1–15,0	15,1–39,0	> 39,1
K_2	1,37	1,27	1,25	1,24	1,20	1,18	1,16

Образование коммунальных отходов на 1 человека через T лет определяется по формуле

$$Y_2 = Y_1 \cdot (1 + U \cdot 100)^T, \text{ м}^3 / \text{чел. год},$$

где U – скорость ежегодного прироста величины удельной нормы образования отходов, %. Примем значение $U = 1,8 \%$.

2. Определить площадь полигона по формуле

$$S_{\Pi} = 1,1 \cdot S_{y.c} + S_{\text{доп}},$$

где $S_{y.c}$ – площадь участка складирования ТКО, м^2 ; $S_{\text{доп}}$ – площадь вспомогательной зоны, включая полосы вокруг полигона и подъездные дороги. $S_{\text{доп}}$ равна 6 000 м^2 .

Площадь участка складирования ТКО рассчитывается по формуле

$$S_{y.c} = \frac{3 \cdot E_T}{H_{n1}}.$$

3. Рассчитать уточненную высоту полигона и объем котлована.

После определения величины $S_{y.c}$ можно уточнить значение высоты H_{n1} . Для этого надо учесть, что на самом деле «холм» ТКО имеет форму усеченной пирамиды, причем размеры верхней площадки должны обеспечивать безопасные развороты мусоровозов. Следовательно, ширина верхней площадки должна быть не менее 40 м.

$$H_{\text{пу}} = \frac{3 \cdot E_T}{S_{y.c} + S_{\text{в.п}} + \sqrt{S_{y.c} \cdot S_{\text{в.п}}}}.$$

где $S_{\text{в.п}}$ – площадь верхней площадки, м^2 .

Будем считать, что наш полигон представляет собой в плане квадрат. Принимаем, что минимально допустимые размеры верхней площадки 40×40 м, т. е. $S_{\text{в.п}} = 1\,600 \text{ м}^2$.

В рассматриваемом случае проектируемый котлован должен полностью обеспечить потребность в грунте, следовательно, его объем должен быть равен $V_{\text{г}}$. С учетом наличия откосов и картовой схемы полигона можно рассчитать глубину котлована $H_{\text{к}}$, м:

$$H_{\text{к}} = 1,1 \cdot \frac{V_{\text{г}}}{S_{\text{у.с.}}},$$

где $V_{\text{г}}$ – потребный объем грунта, м^3 , рассчитывают по формуле

$$V_{\text{г}} = E_T \cdot \left(1 - \frac{1}{K_2}\right).$$

Необходимо найти верхнюю отметку полигона ТКО после его наружной изоляции слоем грунта толщиной 1 м:

$$H_{\text{в.о}} = H_{\text{пл}} - H_{\text{к}} + 1.$$

Исходные данные представлены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Исходные данные (расчет высоконагружаемого полигона ТКО)

№ варианта	T , лет	N_1 , чел.	N_2 , чел.	H^1_n , м
1	22	320 000	480 000	25
2	18	1 200 000	2 000 000	40
3	23	240 000	520 000	25
4	18	440 000	750 000	30
5	21	660 000	1 200 000	9
6	24	820 000	1 400 000	15
7	23	1 210 000	2 200 000	10
8	17	1 025 000	1 900 000	7
9	18	380 000	450 000	30
10	21	800 000	1 100 000	40
11	25	550 000	980 000	40
12	22	225 000	510 000	25
13	20	1 600 000	1 900 000	5
14	15	345 000	410 000	30
15	28	575 000	850 000	40

4. Необходимо заполнить табл. 7.4, используя Федеральный классификационный каталог отходов, согласно своему варианту (табл. 7.5).

Таблица 7.4

Классификация отходов согласно ФККО

Наименование отхода	Код по ФККО	Номер и название блока ФККО	Код происхождения вида отходов и их состава	Код класса опасности вида отходов в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду	Код агрегатного состояния и физической формы вида отхода

Таблица 7.5

Исходные данные (классификация отходов согласно ФККО)

Вариант	Наименование отхода
1	Семена зерновых, зернобобовых, масличных, овощных, бахчевых, корнеплодных культур непротравленные с истекшим сроком годности
	Отходы подстилки из сена при содержании собак
	Гравийно-галечные вскрышные породы практически неопасные
2	Отходы обработки металлических поверхностей в окрасочных камерах
	Тара стальная эмалированная, загрязненная жирами растительного и / или животного происхождения
	Отходы грунта при проведении подводных земляных работ
3	Отходы гипса при ремонтно-строительных работах
	Отходы мойки, пропарки и механической очистки котлов железнодорожных цистерн для перевозки гидроксида и гипохлорита натрия
	Отходы производства сульфидов
4	Солома
	Отходы добычи и обогащения угля
	Прочие отходы производств основных органических химических веществ
5	Осадок при очистке смешанных стоков производства ациклических спиртов, альдегидов, кислот и эфиров
	Брак зубной пасты при ее производстве
	Отходы при ликвидации свалок твердых коммунальных отходов
6	Отходы производства веществ химических органических основных прочих в смеси
	Брак дезодорантов при их производстве
	Пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные
7	Смесь воды подтоварной и конденсата пропарки оборудования при производстве основных органических химических веществ
	Брак жидких средств гигиены полости рта при их производстве
	Непищевые отходы (мусор) кухонь и организаций общественного питания практически неопасные

Вариант	Наименование отхода
8	Смесь тяжелых углеводов при зачистке емкостей хранения сырья и продукции производств основных органических химических веществ
	Брак пастообразных средств гигиены полости рта при их производстве
	Отходы (мусор) от уборки пассажирских вагонов железнодорожного подвижного состава, не содержащие пищевые отходы
9	Осадок при очистке смешанных стоков производства ациклических спиртов, альдегидов, кислот и эфиров
	Брак жидких бесспиртовых косметических средств при их производстве
	Отходы производства искусственных волокон
10	Отходы (осадок) механической очистки нейтрализованных стоков производств органического синтеза
	Брак пенообразующих косметических средств при их производстве
	Отходы производства резиновых изделий
11	Отходы производства кислоты азотной, кислот сульфазотных, аммиака
	Ткань фильтровальная из текстильных волокон отработанная, загрязненная гексогеном
	Упаковка из бумаги, загрязненная сыпучими реагентами для изготовления полимерсвязанных добавок, высокоопасная
12	Отходы производства кислоты азотной
	Отходы производства ракетного топлива
	Упаковка из полиэтилена, загрязненная реагентами для изготовления полимерсвязанных добавок, высокоопасная
13	Ткань фильтровальная из полимерных волокон, отработанная при очистке технологических газов производства слабой азотной кислоты
	Отходы производства клеев
	Шелуха орехов
14	Ткань фильтровальная из синтетических волокон, отработанная при очистке аммиачно-воздушной смеси производства азотной кислоты
	Отходы производства эфирных масел
	Шрот шиповника
15	Смесь углей активированных, отработанных при производстве метионина, сероуглерода и получении полупродуктов в производстве анилина
	Отходы производства реактивов химических
	Отходы при ликвидации свалок твердых коммунальных отходов

Контрольные вопросы

1. Что такое отходы производства и потребления, ТКО?
2. Что включает в себя ФККО?
3. Как рассчитывается общая вместительность полигона ТКО?
4. Какие виды деятельности включает в себя обращение с отходами?
5. Как рассчитывается площадь участка складирования ТКО?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочкарева И. И., Анопченко Л. Ю. Экология : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 71 с.
2. Экология : сб. описаний практических работ / В. А. Казанцев, Н. В. Катаева, Т. Г. Малахова, Н. П. Миронычева-Токарева, Е. Н. Филонова. – Новосибирск : СГГА, 2011. – 78 с.
3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Перельман А. И. Геохимия : учеб. пособие для геолог. спец. ун-тов. – М. : Высш. школа, 1979. – 423 с.
5. Анопченко Л. Ю., Баранова Е. И., Бочкарева И. И. Экология : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 152 с.
6. Шилов И. А. Экология : учеб. для вузов. – М. : Юрайт, 2025. – 539 с.
7. Павлова Е. И., Новиков В. К. Общая экология : учеб. и практикум для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2025. – 167 с.
8. Экология : учебник и практикум для вузов / О. Е. Кондратьева [и др.] ; под ред. О. Е. Кондратьевой. – М. : Юрайт, 2025. – 283 с.
9. Васюкова А. Т., Славянский А. А., Ярошева А. И. Экология : учеб. – СПб. : Лань, 2020. – 180 с.
10. Экология : учеб. пособие / Е. Е. Степаненко, В. А. Халикова, О. С. Зверева [и др.]. – Ставрополь : СтГАУ, 2023. – 180 с.
11. Некрасова Л. С., Лантинов А. В. Экология : учеб. пособие – Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. – 115 с.
12. Николайкин Н. И., Николайкина Н. Е., Мелехова О. П. Экология : учеб. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 615 с.
13. Пушкарь В. С., Якименко Л. В. Экология : учеб. – М. : ИНФРА-М, 2024. – 397 с.

14. Герасимова Н. А., Хандогина А. В. Экологические основы природопользования : учеб. пособие ; под общ. ред. Е. К. Хандогиной. – 2-е изд. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2024. – 160 с.

15. Гордеева И. В. Экологические основы природопользования : учеб. пособие. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2024. – 128 с.

16. Об охране окружающей среды : федер. закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

17. Об отходах производства и потребления : федер. закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Учебное издание

Баранова Евгения Ивановна
Анопченко Людмила Юрьевна
Луговская Анна Юрьевна

ЭКОЛОГИЯ

Редактор *О. В. Георгиевская*
Компьютерная верстка *Ю. С. Мерзликиной*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 05.02.2025. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 3,31. Тираж 272 экз. Заказ 25.
Гигиеническое заключение
№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.