

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

А. В. Алдушин

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Учебно-методическое пособие по выполнению практических работ
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
05.03.06 Экология и природопользование

Калининград
2025

УДК 004.6, 504.03, 504.054

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет» Е.А. Масюткина

Алдушин, А. В.

Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду:
учеб.-метод. пособие по выполнению практических работ для студ.
бакалавриата по напр. подгот. 05.03.06 Экология и природопользование /
А. В. Алдушин. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 59 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению практических работ по
дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую
среду» представлены учебно-методические материалы по выполнению
практических работ, включающие подробный план работ по каждой изучаемой
теме.

Табл. 14, рис. 6, список лит. – 3 наименования

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано
к изданию в качестве локального электронного методического материала для
использования в учебном процессе методической комиссией института
рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет» 25 апреля 2025 г., протокол № 4

УДК 004.6, 504.03, 504.054

©Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2025 г.
Алдушин, А.В., 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Методические рекомендации по выполнению практических работ.....	9
2 Темы практических работ.....	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано для направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование по дисциплине "Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду", входящей в модуль «модуль направления» обязательной части основной профессиональной образовательной программы высшего образования программы бакалавриата по данному направлению подготовки.

Целью практических работ по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» является формирование навыков применения методов моделирования для прогнозирования динамики экосистем при изменении внешних условий под влиянием антропогенной активности.

Основными задачами практических работ по дисциплине «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду» являются:

- знакомство с основами системного подхода применительно к экологическим системам;
- овладение умением применять методы моделирования в решении экологических вопросов;
- овладение основными типами информационных систем, используемых при моделировании и прогнозировании экологических задач.

Практические работы выполняются на основании задания, выдаваемого преподавателем.

Формы текущего контроля и критерии оценивания результатов освоения материала, изучаемого на практических занятиях дисциплины «Моделирование антропогенного воздействия на окружающую среду», представлены ниже.

Текущая аттестация студентов

Текущая и промежуточная аттестация студентов в вузе играет важную роль в образовательном процессе, обеспечивая систематический контроль и оценку знаний, умений и навыков учащихся. Эти формы аттестации помогают преподавателю оценить уровень усвоения учебного материала и подготовки студентов к решению реальных экологических задач, выявить пробелы в знаниях и своевременно внести коррективы в процесс обучения в случае необходимости.

Текущий контроль приучает студентов к систематической работе по изучаемой дисциплине и позволяет определить уровень усвоения студентами теоретического материала и освоенных практических навыков.

Основные задачи текущей аттестации:

- оценка понимания теории: позволяет оценить, насколько студенты понимают основные теоретические аспекты моделирования и его применения в экологии;

- практические навыки: проверяют умение студентов применять модели и методы анализа для решения практических задач, связанных с антропогенным воздействием;

- обратная связь: студенты получают регулярную обратную связь о своих достижениях и ошибках, что способствует их мотивации и улучшению результатов;

- корректировка учебного процесса: преподаватель может адаптировать методы преподавания и учебные материалы в зависимости от результатов текущей аттестации.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется посредством следующих видов оценочных средств:

- выполнение и защиту практических работ в форме контроля правильности выполнения задания и устного опроса по теме работы;

- контактную работу преподавателя в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС);

- тестовые задания по отдельным темам;

Оценка знаний при текущем контроле проводится в соответствии с числом правильно выполненных тестовых заданий, правильных ответов на вопросы преподавателя при защите практических работ.

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Устный опрос проводится на практических занятиях с целью уточнения правильного понимания рассматриваемых вопросов и применяемых методов моделирования, оценивается как «правильно» или «неправильно».

Проверка выполнения практических заданий (для всех форм обучения) осуществляется по критерию: «зачтено» или «не зачтено». Задание считается не выполненным, если в результатах моделирования допущены грубые ошибки, повлиявшие на общий результат.

Экзамен (для всех форм обучения) проводится в конце семестра по расписанию в виде тестовых заданий. Экзаменационный тест содержит вопросы теоретической части и одно практическое задание (в соответствии с одной из тем, предусмотренных планом практических работ).

Оценка за экзамен осуществляется по четырехбалльной системе.

Оценка «*Неудовлетворительно*» выставляется в случае, если студент набрал менее 60 % правильных ответов по теоретической части теста, либо полностью не выполнил практическое задание.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется в случае, если студент набрал 60–70 % правильных ответов и допустил незначительные ошибки, либо не полностью выполнил практическое задание.

Оценка «Хорошо» выставляется в случае, если студент набрал более 70 % правильных ответов и допустил незначительные ошибки, либо не полностью выполнил практическое задание.

Оценка «Отлично» выставляется в случае, если студент набрал более 80 % правильных ответов и полностью выполнил практическое задание.

Тестовые задания используются для оценки освоения всех тем дисциплины студентами очной и заочной форм обучения. Тесты сформированы на основе материалов лекций и вопросов, рассмотренных в рамках практических занятий и заданий, выполненных в рамках работы в ЭИОС. Тестирование обучающихся проводится на практических занятиях (в течение 10-15 минут, в зависимости от уровня сложности материала) после рассмотрения на лекциях соответствующих тем и выполненных заданий в ЭИОС. Тестирование проводится с помощью компьютерной программы Indigo (база тестов располагается на сервере кафедры).

Положительная оценка («отлично», «хорошо» или «удовлетворительно») выставляется программой автоматически в зависимости от количества правильных ответов.

Градация оценок:

- «отлично» – 81 % и выше;
- «хорошо» – 70 % и выше, но не более 80 %;
- «удовлетворительно» – 60 % и выше, но не более 69 %.

Система оценивания результатов обучения при промежуточной аттестации включает в себя системы оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» (таблица).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Критерий \ Система оценок				
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Критерий \ Система оценок				
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	некоторые из которых может связывать между собой)			
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задачи данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения	В состоянии решать только фрагменты поставленной	В состоянии решать поставленные задачи в	В состоянии решать поставленные задачи в	Не только владеет алгоритмом и понимает его

Критерий \ Система оценок				
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
профессиональных задач	задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	соответствии с заданным алгоритмом	соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Учебно-методическое пособие состоит из:

- введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки (специальности); дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цель и задачи практических работ; вид текущего контроля;
- основной части, которая содержит методические рекомендации к занятиям, темы практических работ;
- заключения;
- библиографического списка.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические работы направлены на освоение методов количественной оценки экологических рисков, разработку математических и компьютерных моделей для анализа воздействия на компоненты окружающей среды и интерпретацию результатов моделирования и разработки рекомендаций по минимизации негативных воздействий.

Занятия проводятся в компьютерном классе с использованием офисного и специализированного программного обеспечения, а также открытых геоинформационных систем. Практическая работа имеет следующую структуру:

- вводный инструктаж (20 мин): включает в себя краткое повторение теоретической базы и постановку проблемы;
- подготовка к работе (10 мин): настройка программного обеспечения, ознакомление с исходными данными, распределение заданий (индивидуальных или групповых);
- выполнение задания (70 мин): построение модели, проведение расчетов, анализ результатов.
- защита работы (20 мин): презентация модели и выводов по работе, ответы на вопросы преподавателя и дискуссия в группе.

В процессе защиты практических работ оцениваются:

- правильность построения модели, точность расчетов и адекватность исходных данных;
- умение интерпретировать результаты и предлагать меры по снижению экологического ущерба;
- умение аргументировать выводы по работе и давать ответы на вопросы по теме практической работы;
- свобода владения теоретическим материалом по теме практической работы.

При подготовке к практическому занятию студенту рекомендуется изучить тему заранее, используя конспекты лекций и теоретический материал к практической работе. Непосредственно при выполнении работы ему следует фиксировать возникающие ошибки и пути их устранения, и включить эту информацию в итоговый отчет по работе. При пропуске практического занятия студенту рекомендуется изучить и выполнить работу самостоятельно и записаться на внеурочную консультацию, чтобы защитить работу и прояснить возникшие в ходе ее выполнения вопросы.

Отчет оформляется в электронном виде и содержит:

- Титульный лист (название работы, ФИО, группа).

- Цель и исходные данные.
- Описание модели (уравнения, параметры).
- Графики/карты результатов.
- Выводы и экологические рекомендации.

Примечание: плагиат не допускается. Все расчеты должны быть воспроизводимы.

2 ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Тема 1. Моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы: расчет нормативов допустимых сбросов и оценка экологических рисков средствами универсальных программных продуктов.

Цель: разработать универсальную модель в среде Microsoft Excel для расчета нормативов допустимых сбросов (НДС) загрязняющих веществ, оценить антропогенную нагрузку на водные экосистемы и автоматизировать анализ соответствия фактических сбросов экологическим требованиям.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисных приложений, включая электронные таблицы и текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Задание к практической работе:

1. Рассчитать НДС для каждого из веществ по исходным данным, приведенным в приложении к практической работе. Результаты свести в таблицу (Вещество, Сндс, НДС). Расчет Сндс проводится в зависимости от выполнения (невыполнения) ряда условий согласно схемам, приведенным к данной работе.

2. Сравнить полученные значения НДС с текущим содержанием веществ в сточных водах. Для этого справа от таблицы, созданной в п.1 задания, создать еще 3 столбца (оператор сравнения, сточные воды, результат). В столбец «сточные воды» заносятся фактические содержания веществ в сточных водах, умноженное на часовой расход. В столбец «оператор сравнения» в зависимости от того, превышает ли расчетное НДС текущие сбросы или нет, ставится знак “ $\geq$ ” (больше или равно) или “ $<$ ” (меньше). В столбец «результат» в зависимости от выполнения того же условия выводятся 2 значения: «норма» в случае, когда НДС больше (или равно) фактических сбросов (с учетом расхода), и «требуется предв. очистка» в случае, когда фактические сбросы превышают расчетное значение НДС;

3. Построить сводную таблицу, отражающую информацию о содержании каждого из веществ в сточных водах, рассчитанном НДС для каждого вещества и разнице между рассчитанным НДС и фактическими сбросами (в виде вычисляемого поля сводной таблицы).

4. По данным сводной таблицы, полученной в п. 2, (для следующих веществ: аммоний солевой, нитрат-ион, сульфаты, хлориды, взвешенные вещества) построить гистограмму с накоплением, отражающую фактическое содержание каждого вещества в сточных водах и разницу между рассчитанным НДС и фактическими сбросами. Для последнего поля вывести его значения в виде подписей данных.

Примечания к практической работе:

- кратность начального разбавления не учитывается;
- расчет кратности основного разбавления производится по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера;
- коэффициент турбулентной диффузии рассчитывается для летнего времени;
- Для определения $C_{ндс}$ использовать формулу (4);
- Расчет должен сопровождаться пояснениями. Т.е. для расчетов, где используются формулы, должны приводиться формулы, сделанные в редакторе формул, а также краткое описание того, что они получают (см. пример на рисунке 1).

Определим коэффициент извилистости	
$\varphi = \frac{1}{L_{\pi}}$	$\varphi = \frac{L_{\phi}}{L_{\pi}}$

Рисунок 1 – Пример описания расчета для определения коэф. Извилистости

- При расчете $C_{ндс}$ для каждого полученного значения $C_{ндс}$ выводить информацию о том, каким образом получено это значение. Список возможных вариантов формулировок приведен на рисунке 2.

Осн. формула*:	$C_{ндс} = C_{\phi} + N \cdot (C_{пдк} - C_{\phi})$		
Общие требования			
Взвешенные вещества	$C_{ндс} = 48.539$	по формуле (*)	
БПК полн.	$C_{ндс} = 5.170$	исходя из условия сохранения фона	
Сухой остаток	$C_{ндс} = 425.000$	т.к. $C_{ндс} > C_{ст}$, то $C_{ндс} = C_{ст}$	

Рисунок 2 – Пример расчета $C_{ндс}$ с объяснением того, как получено это значение

- Расчет должен быть сделан универсальным, т.е. при смене значений в исходных данных должен получаться правильный результат с учетом приведенной методики;
- Для всех расчетных значений, кроме гамма (6 знаков после запятой), точность должна составлять 3 знака после запятой;
- Для графика: шрифт TimesNewRoman 10, визуализировать (черным цветом) оси, установить названия для осей, основные деления осей направить внутрь, легенду расположить снизу, подписи расположить у вершины внутри.

Исходные данные для расчета нормативов НДС загрязняющих веществ в водоток

Выпуск сточных после очистных сооружений в реку осуществляется через водовыпуск, расположенный у берега. Расход сточных вод $q=21,96 \text{ м}^3/\text{час}$. Расстояние от места выпуска до расчетного створа по фарватеру $L_{\phi}=500 \text{ м}$, по

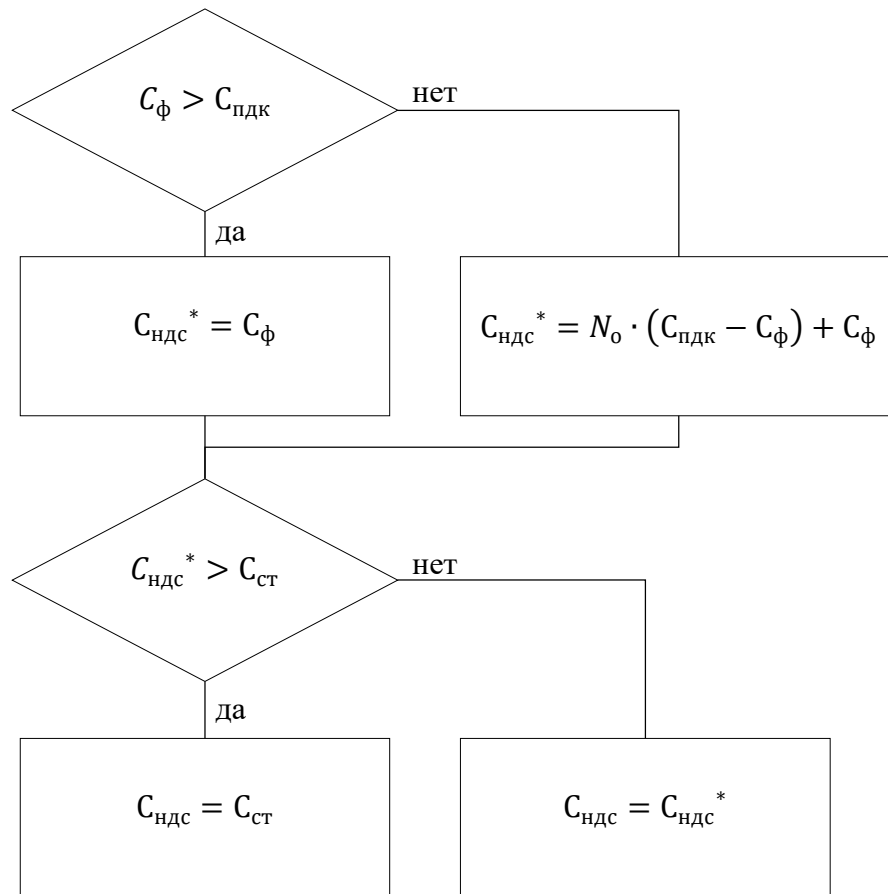
прямой $L_n=500$ м. Сброс производится за пределами населенного пункта, водозаборов вблизи нет. Гидрологические данные водотока расчетный расход $0,20 \text{ м}^3/\text{с}$. Средняя глубина $0,5$ м. Средняя скорость течения $0,18 \text{ м/с}$. Шероховатость ложа реки $n_{ш}=0,05$. Категория водотока – Рыбохозяйственный.

Таблица 2 – По течению гидрохимические данные водоема выше сброса (фон, река выше сточных вод (г/м³))

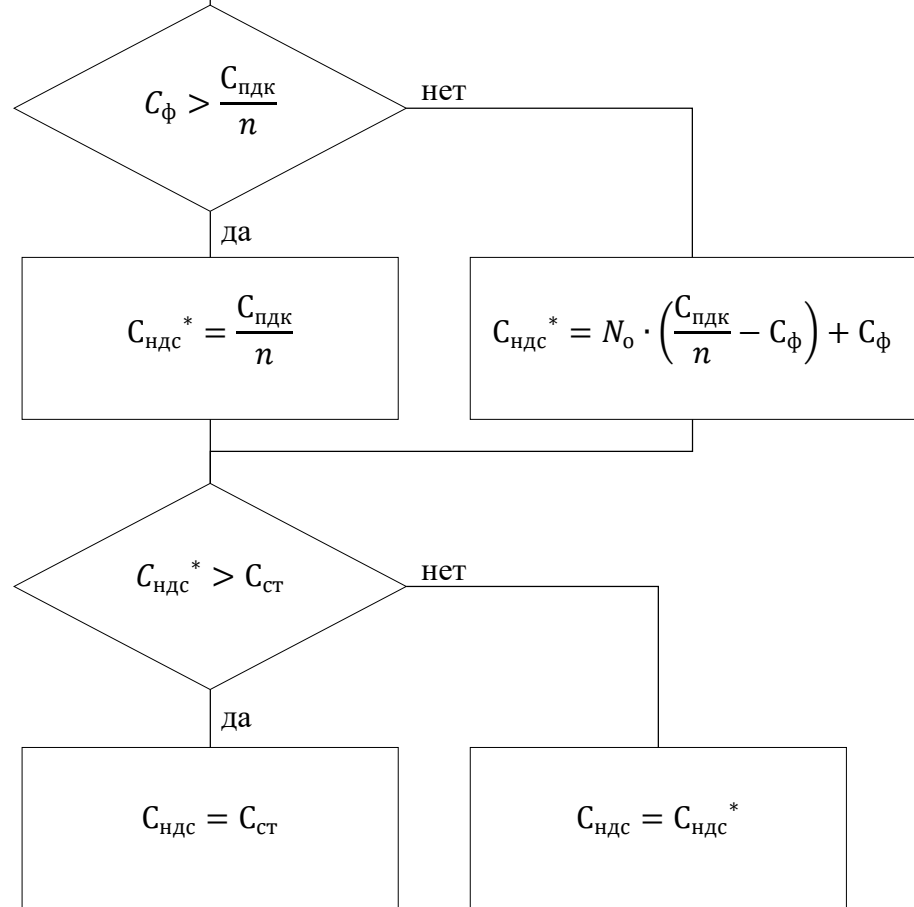
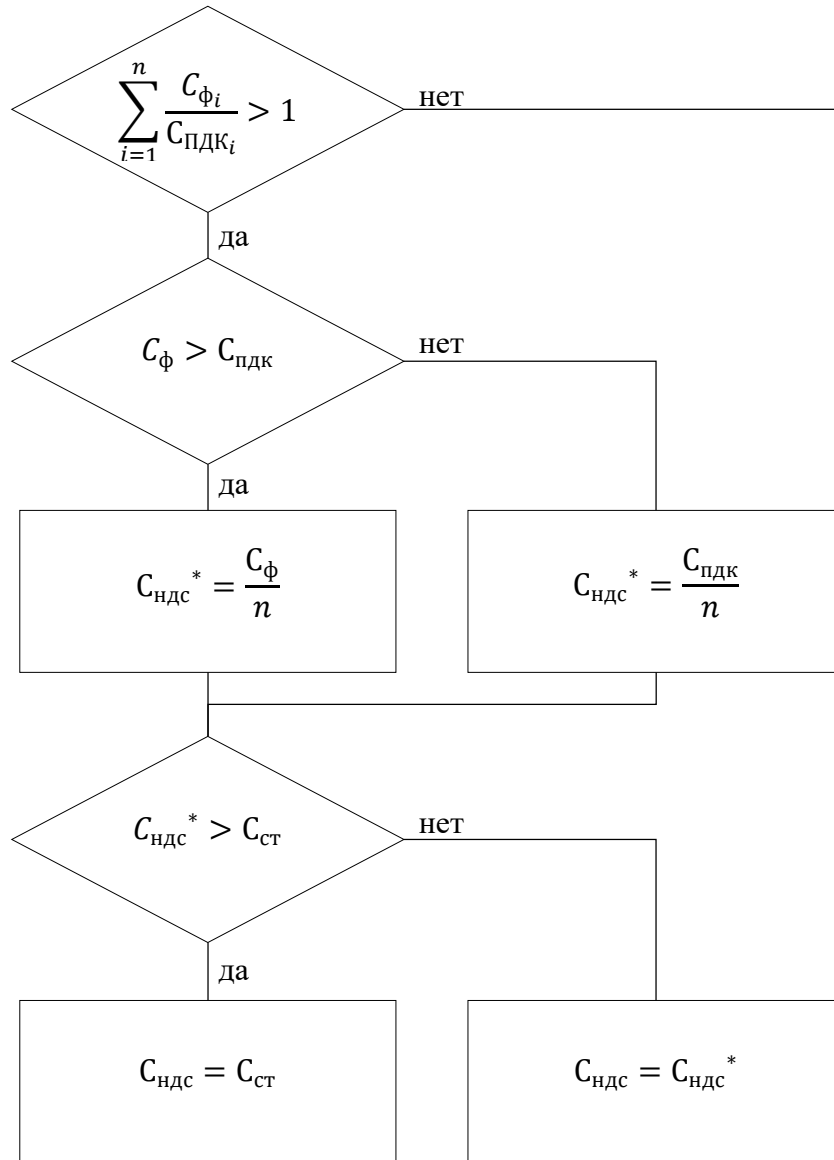
№ п.п.	Показатели свойства вод	Фон	Сточные воды	ПДК
Общие требования				
1	Взвешенные вещества	23,2	181,2	23,95
2	БПК полн.	5,17	7,41	3
3	Сухой остаток	273,0	425	1000
Токсикологический показатель (ЛПВ)				
1	Аммоний солевой (NH_4^+)	7,0	21,8	0,5
2	Нитрит-ион (NO_2^-)	0,038	0,61	0,08
3	Железо общее ($\text{Fe}_{\text{общ.}}$)	3,95	5,85	0,1
Санитарно-токсикологический показатель (ЛПВ)				
1	Нитрат-ион (NO_3^{2-})	16,04	84,37	40
2	Алкилсульфонат (СПАВ)	0,2	0,34	0,5
3	Хлориды (Cl^-)	18,2	32	300
4	Сульфаты (SO_4^{2-})	31,2	43,21	100
Рыбохозяйственный показатель (ЛПВ)				
1	Нефтепродукты		0,15	0,05

Схемы расчета величины Сндс для простых веществ, и веществ, относящихся к группам с лимитирующим признаком вредности (ДПВ), представлены ниже.

Для простых веществ (не относящихся к группам ЛПВ)



Для веществ, относящихся к группам ЛПВ



Ниже представлены выдержки из методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей, на основании которых выполняется задание по данной практической работе.

РАСЧЕТ НОРМАТИВА ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ (НДС) ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

(выдержки из методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей¹)

I. Назначение и область применения

1.... Величины НДС определяются исходя из нормативов качества воды водного объекта. Если нормативы качества воды в водных объектах не могут быть достигнуты из-за воздействия природных факторов, не поддающихся регулированию, то величины НДС определяются исходя из условий соблюдения в контрольном пункте сформировавшегося природного фонового качества воды (т.е. сбросы проводят с очисткой до фоновых величин)².

7. Для веществ, относящихся к 1-му и 2-му классам опасности при всех видах водопользования, НДС определяются так, чтобы для веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ), содержащихся в воде водного объекта, сумма отношений концентраций каждого вещества к соответствующим ПДК не превышала 1².

Для веществ, относящихся к одной группе ЛПВ, необходимо при расчете НДС использовать приведенный ПДК, т.е.

$$\text{ПДК}_\Pi = \frac{\text{ПДК}}{m},$$

где m – количество веществ, относящихся к данной группе ЛПВ

12. Величины НДС разрабатываются и утверждаются для действующих и проектируемых организаций-водопользователей (приложения 1, 2). Разработка величин НДС осуществляется как организацией-водопользователем, так и по его поручению проектной или научно-исследовательской организацией. Если фактический сброс действующей организации-водопользователя меньше расчетного НДС, то в качестве НДС принимается фактический².

Расчет величин НДС для отдельных выпусков сточных вод в водотоки

¹ Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 17.12.2007 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей

² см схемы расчета к практической работе

25. Величины НДС определяются для всех категорий водопользователей как произведение максимального часового расхода сточных вод q ($\text{м}^3/\text{ч}$) на допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{\text{ндс}}$ ($\text{г}/\text{м}^3$). При расчете условий сброса сточных вод сначала определяется значение $C_{\text{ндс}}$, обеспечивающее нормативное качество воды в контрольных створах с учетом требований Методики, а затем определяется НДС согласно формуле:

$$\text{НДС} = q \cdot C_{\text{ндс}} \quad (3)$$

Если фоновая концентрация загрязняющего вещества в водном объекте превышает ПДК, то $C_{\text{ндс}}$ определяется в соответствии с п. 1 настоящей Методики. В противном случае для определения $C_{\text{ндс}}$ в зависимости от типа водного объекта используются расчетные формулы, приведенные в разд. III.

26. Основная расчетная формула для определения $C_{\text{ндс}}$ без учета неконсервативности вещества имеет вид:

$$C_{\text{ндс}} = n \cdot (C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}} \quad (4)$$

где $C_{\text{пдк}}$ – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в ПДК воде водотока, $\text{г}/\text{м}^3$;

$C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке ($\text{г}/\text{м}^3$) выше выпуска сточных вод, определяемая в соответствии с действующими методическими документами по проведению расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков;

n – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке, равная произведению кратности начального разбавления $n_{\text{н}}$ на кратность основного $n_{\text{о}}$ (основное разбавление, возникающее при перемещении воды от места выпуска к расчетному створу)

$$n = n_{\text{н}} \cdot n_{\text{о}} \quad (5)$$

С учетом неконсервативности загрязняющего вещества расчетная формула имеет вид:

$$C_{\text{ндс}} = n \cdot (C_{\text{пдк}} \cdot e^{kt} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}} \quad (6)$$

где k – коэффициент неконсервативности органических веществ, показывающий скорость потребления кислорода, зависящий от характера органических веществ, $1/\text{сут.}$;

t – время добегаания от места выпуска сточных вод до расчетного створа, сутки.

Значения коэффициента неконсервативности принимаются по данным натурных наблюдений или по справочным данным и пересчитываются в зависимости от температуры и скорости течения воды реки.

28. Кратность основного разбавления n_o определяется по методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера:

$$n_o = \frac{q + \text{гамма} \cdot Q}{q} \quad (17)$$

где Q – расчетный расход водотока, м³/с;

гамма – коэффициент смешения, показывающий, какая часть речного расхода смешивается со сточными водами в максимально загрязненной струе расчетного створа:

$$\text{гамма} = \frac{1 - e^{-\text{альфа} \cdot \sqrt[3]{l}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\text{альфа} \cdot \sqrt[3]{l}}} \quad (18)$$

где l – расстояние от выпуска до расчетного створа по фарватеру, м;

альфа – коэффициент, учитывающий гидравлические условия в реке:

$$\text{альфа} = \text{фи} \cdot \text{кси} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}} \quad (19)$$

где фи – коэффициент извилистости (отношение расстояния до контрольного створа по фарватеру к расстоянию по прямой);

кси – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод (при выпуске у берега $\text{кси} = 1$, при выпуске в стрежень реки $\text{кси} = 1,5$);

D – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с. Для летнего времени:

$$D = \frac{g \cdot T_{\text{хэтта}} \cdot H}{37 \cdot n_{\text{ш}} \cdot C^2} \quad (20)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

$T_{\text{хэтта}}$ – средняя скорость течения реки, м/с;

H – средняя глубина реки, м;

$n_{\text{ш}}$ – коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый по справочным данным (по таблице М.Ф. Срибного);

C – коэффициент Шези (м/с), определяемый по формуле Н.Н. Павловского (при $H \leq 5$ м):

$$C = \frac{R^Y}{n_{ш}} \quad (21)$$

где R – гидравлический радиус потока, м ($R \sim H$);

$$Y = 2,5 \cdot \sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n_{ш}} - 0,1) \quad (22)$$

Для зимнего времени (периода ледостава):

$$D = \frac{g \cdot \sqrt{R_{пр}}}{37 \cdot n_{пр} \cdot C_{пр}^2} \quad (23)$$

где $R_{пр}$, $n_{пр}$, $C_{пр}$ – приведенные значения гидравлического радиуса, коэффициента шероховатости и коэффициента Шези;

$$R_{пр} = 0,5 \cdot H \quad (24)$$

$$n_{пр} = n_{ш} \cdot \left(1 + \left(\frac{n_{л}}{n_{ш}}\right)^{1,5}\right)^{0,67} \quad (25)$$

где $n_{л}$ – коэффициент шероховатости нижней поверхности льда по П.Н. Белоконю

$$C_{пр} = \frac{R_{пр}^{Y_{пр}}}{n_{пр}} \quad (26)$$

$$Y_{пр} = 2,5 \cdot \sqrt{n_{пр}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R_{пр}} \cdot (\sqrt{n_{пр}} - 0,1) \quad (27)$$

Для повышения точности расчетов вместо средних значений $T_{хэтта}$, H , $n_{ш}$ и C рекомендуется брать их значения в зоне непосредственного смешения сточной жидкости с речной водой.

Рассмотренный метод может применяться при соблюдении следующего неравенства:

$$0,0025 \leq \frac{q}{Q} \leq 0,1 \quad (28)$$

Если сточные воды и притоки могут поступать с обоих берегов реки, обеспечивая практически постоянную струйность речных вод вдоль каждого берега, то для расчетов концентраций веществ в максимально загрязненной

струе рекомендуется использовать метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера для случая впадения сточных вод с обоих берегов реки.

29. Если не соблюдаются условия применимости метода В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера или в расчете необходимо учесть данные о накоплении загрязняющих веществ в донных отложениях, то рекомендуется использовать методы, изложенные в книге Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод под редакцией А.В. Караушева.

Тема 2. Моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы с использованием специализированного ПО: оценка допустимых сбросов и разработка природоохранных мероприятий.

Цель: освоить применение специализированного программного обеспечения для комплексной оценки антропогенной нагрузки на водные объекты.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного и специализированного программного обеспечения, включая программы для расчёта нормативов допустимых сбросов (НДС) («НДС-Эколог» или «Зеркало++ – расчёт НДС») а также электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Задания к практической работе представлены по вариантам (выдаваемым преподавателем на практическом занятии). Необходимые исходные данные и формулировки задания представлены ниже.

Вариант №1

В водный объект проточного типа под названием «река Тихая», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, высшая категория» и находящегося за пределами города, предприятием МУП «МБЗ» через водовыпуск с названием «в районе д. Дунаевка», расположенном на расстоянии 90 м от начала водного объекта возле берега через трубу диаметром 25 см (сосредоточенный тип оголовка), находящуюся на расстоянии 1 м над поверхностью водного объекта, сбрасываются бытовые сточные воды. Скорость реки в районе водовыпуска такая же, как и средняя скорость потока. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 3. Длина водного объекта по прямой – 800 м, по фарватеру – 820 м, ширина – 9 м, средняя глубина – 4 м, максимальная – 4 м. Средняя скорость потока – 0,0236 м/с. Коэффициент шероховатости дна равен 0,067. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 19,48 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Родзиллеру, расчет диффузии – по Павловскому. Расчет НДС должен

предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте. Фон водного объекта считается постоянным на всем его протяжении.

Таблица 3 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	19,8	209,8
БПК-полн.	4,12	7,84
Сухой остаток	312	780
Железо	0,15	0,25
Медь	1,5	5,2
Никель		
Аммоний-ион	6,2	19,4
Нитраты	16,28	25,9
Нитриты		
Хлорид-анион	81	160,8
Свинец		
Цинк		
Сульфат-анион	31,9	58,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		
Алкилсульфонаты-СПАВ	0,09	0,38

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 3, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. расход реки, коэффициент диффузии, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;
6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах

удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);

7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:

7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);

7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №2

В водный объект замкнутого типа под названием «Невское водохранилище», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, высшая категория» и находящегося за пределами города, предприятием ООО «МУС» через водовыпуск с названием «в районе д. Лугачево», расположенном на расстоянии 800 м от начала водного объекта возле берега через трубу диаметром 52 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на глубине 3,3 м, сбрасываются промышленные сточные воды. Эффективный диаметр донных отложений – 8,7 мм. Минимальная скорость течения в водоеме в районе возможных выпусков неизвестна. Наличия данных по волноприбою нет. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 4. Длина участка объекта – 2025 м, ширина – 43 м, средняя глубина – 6 м, максимальная – 6 м. Скорость ветра над водой на высоте 2 м. при наименее благоприятных условиях – 3,2 м/с. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 18,87 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Руффелю. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте.

Таблица 4 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м³)	Сточные воды (г/м³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	10,8	319,2
БПК-полн.	4,02	7,32
Сухой остаток	257	685
Железо		
Медь	0,004	0,013
Никель		
Аммоний-ион	4,2	23,4
Нитраты	16,28	25,9
Нитриты	0,025	0,064
Хлорид-анион		
Свинец		
Цинк		

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Сульфат-анион	18,1	47,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		0,13
Алкилсульфонаты-СПАВ	0,09	0,38

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 4, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расстояние от начала участка водного объекта до контрольного створа, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;
6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);
7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:
 - 7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);
 - 7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №3

В водный объект проточного типа под названием «река Тихая», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, первая категория» и находящегося за пределами города, предприятием МУП «Отходы» через водовыпуск с названием «труба №1», расположенном на расстоянии 240 м от начала водного объекта и 2 м от берега через трубу размером 30 х 30 см (сосредоточенный тип оголовка), находящуюся на глубине 1 м, сбрасываются бытовые сточные воды. Скорость реки в районе водовыпуска неизвестна. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 5. Длина водного объекта по прямой – 1 км, по фарватеру – 1 км, ширина – 19 м, средняя глубина – 5,5 м, максимальная – 5,8 м. Средняя скорость потока – 0,012 м/с. Коэффициент шероховатости дна равен 0,050. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально

часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 20,12 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Родзиллеру, расчет диффузии – по Павловскому. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте. Фон водного объекта считается постоянным на всем его протяжении.

Таблица 5 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	10,8	319,2
БПК-полн.	3,12	5,32
Сухой остаток	257	685
Железо		
Медь		
Никель		
Аммоний-ион	4,2	23,4
Нитраты	14,43	29,2
Нитриты		
Хлорид-анион	72	190,8
Свинец	0,001	0,025
Цинк	0,025	0,008
Сульфат-анион	31,9	58,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		
Алкилсульфонаты-СПАВ	0,02	0,68

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 5, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расход реки, коэффициент диффузии, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;

6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);

7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:

7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);

7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №4

В водный объект замкнутого типа под названием «Невское водохранилище», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, первая категория» и находящегося за пределами города, предприятием ООО «Экосброс» через водовыпуск с названием «Труба №238», расположенном на расстоянии 400 м от начала водного объекта и 4,5 м от берега, через трубу размером 45 х 25 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на расстоянии 75 см над поверхностью водного объекта, сбрасываются промышленные сточные воды. Эффективный диаметр донных отложений – 5,4 мм. Минимальная скорость течения в водоеме в районе возможных выпусков неизвестна. Наличие данных по волноприбою нет. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 6. Длина участка объекта – 1270 м., ширина – 35 м, средняя глубина – 2 м, максимальная – 2,1 м. Скорость ветра над водой на высоте 2 м при наименее благоприятных условиях – 5,1 м/с. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 25,04 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Руффелю. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте.

Таблица 6 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	19,3	209,8
БПК-полн.	3,12	7,84
Сухой остаток	312	702
Железо		
Медь		
Никель		
Аммоний-ион	4,2	23,4
Нитраты	14,43	29,2
Нитриты	0,025	0,082

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Хлорид-анион	72	160,4
Свинец		
Цинк		
Сульфат-анион	20,3	52,5
Натрия роданид	0,1	0,22
Нефть и нефтепродукты		0,22
Алкилсульфонаты-СПАВ		

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 6, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расстояние от начала участка водного объекта до контрольного створа, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;
6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);
7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:
 - 7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);
 - 7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №5

В водный объект проточного типа под названием «река Тихая», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, вторая категория» и находящегося за пределами города, предприятием МУП «Сбросы» через водовыпуск с названием «в районе п. Донское», расположенном на расстоянии 120 м от начала водного объекта возле берега через трубу диаметром 40 см (сосредоточенный тип оголовка), находящуюся на глубине 80 см, сбрасываются бытовые сточные воды. Скорость реки в районе водовыпуска такая же, как и средняя скорость потока. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 7. Длина водного объекта по прямой – 950 м, по

фарватеру – 980 м, ширина – 23 м, средняя глубина – 3 м, максимальная – 3,2 м. Средняя скорость потока – 0,023 м/с. Коэффициент шероховатости дна равен 0,080. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 16,37 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Родзиллеру, расчет диффузии – по Павловскому. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте. Фон водного объекта считается постоянным на всем его протяжении.

Таблица 7 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	19,3	287,8
БПК-полн.	4,02	7,32
Сухой остаток	332	702
Железо	0,17	0,32
Медь		
Никель		
Аммоний-ион	6,1	21,8
Нитраты	15,25	27,4
Нитриты	0,025	0,064
Хлорид-анион		
Свинец		0,005
Цинк		0,003
Сульфат-анион	18,1	47,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		
Алкилсульфонаты-СПАВ		

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 7, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расход реки, коэффициент диффузии, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;

4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);

5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;

6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);

7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:

7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);

7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №6

В водный объект замкнутого типа под названием «Невское водохранилище», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, вторая категория» и находящегося за пределами города, предприятием МУП «Сбросы» через водовыпуск с названием «в районе п. Донское», расположенном на расстоянии 220 м от начала водного объекта, возле берега через трубу диаметром 48 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на глубине 86 см, сбрасываются бытовые сточные воды. Эффективный диаметр донных отложений – 2,5 мм. Минимальная скорость течения в водоеме в районе возможных выпусков – 0,023 м/с. Наличия данных по волноприбою нет. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 8. Длина участка объекта – 750 м, ширина – 20 м, средняя глубина – 3 м, максимальная – 3,2 м. Скорость ветра над водой на высоте 2 м при наименее благоприятных условиях – 6,4 м/с. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 16,37 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Руффелю. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте.

Таблица 8 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	19,3	287,8
БПК-полн.	4,02	7,32
Сухой остаток	332	702
Железо	0,17	0,32
Медь		
Никель		

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Аммоний-ион	6,1	21,8
Нитраты	15,25	27,4
Нитриты	0,025	0,064
Хлорид-анион		
Свинец		0,005
Цинк		0,003
Сульфат-анион	18,1	47,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		
Алкилсульфонаты-СПАВ		

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 8, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расстояние от начала участка водного объекта до контрольного створа, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;
6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);
7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:
 - 7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);
 - 7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №7

В водный объект проточного типа под названием «река Тихая», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, высшая категория» и находящегося за пределами города, предприятием ООО «Экосброс» через водовыпуск с названием «Труба №238», расположенном на расстоянии 300 м от начала водного объекта и 1,5 м от берега через трубу размером 40 х 20 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на расстоянии 70 см от поверхности водного объекта, сбрасываются

промышленные сточные воды. Скорость реки в районе водовыпуска такая же, как и средняя скорость потока. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 9. Длина водного объекта по прямой – 970 м, по фарватеру – 970 м, ширина – 10 м, средняя глубина – 2 м, максимальная – 2,1 м. Средняя скорость потока – 0,087 м/с. Коэффициент шероховатости дна равен 0,050. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 25,04 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Родзиллеру, расчет диффузии – по Павловскому. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте. Фон водного объекта считается постоянным на всем его протяжении.

Таблица 9 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	19,3	209,8
БПК-полн.	3,12	7,84
Сухой остаток	312	702
Железо		
Медь		
Никель		
Аммоний-ион	4,2	23,4
Нитраты	14,43	29,2
Нитриты	0,025	0,082
Хлорид-анион	72	160,4
Свинец		
Цинк		
Сульфат-анион	20,3	52,5
Натрия роданид	0,1	0,22
Нефть и нефтепродукты		0,22
Алкилсульфонаты-СПАВ		

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 9, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;

4. Произвести расчет, по результатам которого определить:

4.1. Расход реки, коэффициент диффузии, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;

4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);

5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;

6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);

7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:

7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);

7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №8

В водный объект замкнутого типа под названием «Невское водохранилище», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, первая категория» и находящегося за пределами города, предприятием МУП «Отходы» через водовыпуск с названием «труба №1», расположенном на расстоянии 140 м от начала водного объекта и 2 м от берега через трубу размером 35 х 35 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на глубине 1,3 м, сбрасываются бытовые сточные воды. Эффективный диаметр донных отложений – 6,2 мм. Минимальная скорость течения в водоеме в районе возможных выпусков неизвестна. Наличия данных по волноприбою нет. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 10. Длина участка объекта – 400 м, ширина – 15 м, средняя глубина – 5,5 м, максимальная – 5,8 м. Скорость ветра над водой на высоте 2 м при наименее благоприятных условиях – 2,1 м/с. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 20,12 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Руффелю. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте.

Таблица 10 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	10,8	319,2
БПК-полн.	3,12	5,32
Сухой остаток	257	685

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Железо		
Медь		
Никель		
Аммоний-ион	4,2	23,4
Нитраты	14,43	29,2
Нитриты		
Хлорид-анион	72	190,8
Свинец	0,001	0,025
Цинк	0,025	0,008
Сульфат-анион	31,9	58,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		
Алкилсульфонаты-СПАВ	0,02	0,68

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 10, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расстояние от начала участка водного объекта до контрольного створа, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;
6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);
7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:
 - 7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);
 - 7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №9

В водный объект проточного типа под названием «река Тихая», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, высшая категория» и находящегося за пределами города, предприятием ООО «МУС» через водовыпуск с названием «в районе д. Лугачево», расположенном на

расстоянии 40 м от начала водного объекта возле берега через трубу диаметром 32 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на глубине 3 м, сбрасываются промышленные сточные воды. Скорость реки в районе водовыпуска неизвестна. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 11. Длина водного объекта по прямой – 1025 м, по фарватеру – 1050 м, ширина – 16 м, средняя глубина – 6 м, максимальная – 6 м. Средняя скорость потока – 0,0148 м/с. Коэффициент шероховатости дна равен 0,067. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 18,87 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Родзиллеру, расчет диффузии – по Павловскому. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте. Фон водного объекта считается постоянным на всем его протяжении.

Таблица 11 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	10,8	319,2
БПК-полн.	4,02	7,32
Сухой остаток	257	685
Железо		
Медь	0,004	0,013
Никель		
Аммоний-ион	4,2	23,4
Нитраты	16,28	25,9
Нитриты	0,025	0,064
Хлорид-анион		
Свинец		
Цинк		
Сульфат-анион	18,1	47,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		0,13
Алкилсульфонаты-СПАВ	0,09	0,38

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ,

содержащихся в таблице 11, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);

3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;

4. Произвести расчет, по результатам которого определить:

4.1. Расход реки, коэффициент диффузии, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;

4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);

5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;

6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);

7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:

7.1. Бланк НДС для источника (приложение 1.2 методики);

7.2. Бланк НДС для источника (...т/год).

Вариант №10

В водный объект замкнутого типа под названием «Невское водохранилище», имеющего водохозяйственный индекс «рыбохозяйственный, высшая категория» и находящегося за пределами города, предприятием МУП «МБЗ» через водовыпуск с названием «в районе д. Дунаевка», расположенном на расстоянии 70 м от начала водного объекта возле берега через трубу диаметром 32 см (сосредоточенный тип оголовка), расположенную на расстоянии 1,1 м над поверхностью водного объекта, сбрасываются бытовые сточные воды. Эффективный диаметр донных отложений – 1,3 мм. Минимальная скорость течения в водоеме в районе возможных выпусков – 0,0236 м/с. Наличие данных по волноприбою нет. Перечень загрязняющих веществ, их фоновые концентрации и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах приведены в таблице 12. Длина участка объекта – 250 м, ширина – 12 м, средняя глубина – 4 м, максимальная – 4 м. Скорость ветра над водой на высоте 2 м при наименее благоприятных условиях – 1,5 м/с. Контрольный створ располагается согласно методике (автоматическая установка). Максимально часовой расход сточных вод равен среднечасовому расходу и равен 19,48 м³/час. В расчетах аддитивность веществ и бассейновый принцип определяются согласно методикам. Расчет разбавления должен производиться по Руффелю. Расчет НДС должен предусматривать возможность сброса загрязняющих веществ с концентрациями на уровне фоновых значений концентраций этих загрязняющих веществ в водном объекте.

Таблица 12 – Концентрации загрязняющих веществ

Название ЗВ	Фоновое значение (г/м ³)	Сточные воды (г/м ³)
Взвешенные вещества и общее содержание примесей	19,8	209,8
БПК-полн.	4,12	7,84
Сухой остаток	312	780
Железо	0,15	0,25
Медь	1,5	5,2
Никель		
Аммоний-ион	6,2	19,4
Нитраты	16,28	25,9
Нитриты		
Хлорид-анион	81	160,8
Свинец		
Цинк		
Сульфат-анион	31,9	58,4
Натрия роданид		
Нефть и нефтепродукты		
Алкилсульфонаты-СПАВ	0,09	0,38

Ход выполнения задания:

1. Добавить предприятие в справочник предприятий;
2. В рабочем справочнике должны быть только те вещества, которые будут необходимы для проведения расчетов (т.е. перечень веществ, содержащихся в таблице 12, для которых имеются значения фоновых концентраций и/или концентраций в сточных водах);
3. Занести данные, необходимые для расчета, в программу;
4. Произвести расчет, по результатам которого определить:
 - 4.1. Расстояние от начала участка водного объекта до контрольного створа, группы ЛПВ и вещества, которые к ним относятся;
 - 4.2. Вещества, содержание которых в сточных водах недопустимо согласно расчетам (которые превышают установленные значения предельно допустимых сбросов);
5. Подобрать мероприятия, необходимые для предварительной очистки сточных вод;
6. Провести расчет с учетом выбранных мероприятий. Убедиться, что с учетом выбранных мероприятий содержание веществ в сточных водах удовлетворяет требованиям (для тех веществ, для которых это возможно осуществить);
7. Сформировать в MS Word следующие бланки для отчета:
 - 7.1. Бланк ПДС для источника (приложение 1.2 методики);
 - 7.2. Бланк ПДС для источника (...т/год).

Тема 3. Автоматизация моделирования атмосферных выбросов в Excel: алгоритмы ветвления, расчет концентраций и экологический мониторинг.

Цель: освоить применение Microsoft Excel как универсального инструмента для автоматизации расчетов распространения загрязняющих веществ в атмосфере.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисных приложений, включая электронные таблицы и текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Задание к практической работе состоит из двух частей.

Часть 1

1. На основании методики, приведенной ниже, необходимо разработать блок-схемы (алгоритмическая структура "ветвление") расчета основных параметров (m , n , cm , d , $s1$) данной методики (см. образец в работе, посвященной расчету НДС), для которых в зависимости от выполнения или невыполнения условий, должны применяться разные формулы расчета.

Общий вид блок-схем алгоритмической структуры «ветвление» представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид блок-схем алгоритмической структуры “ветвление”

Часть 2

1. Рассчитать максимальное значение приземной концентрации для каждого вредного вещества, а также расстояние от источника выбросов, на котором приземная концентрация при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения.

2. Рассчитать приземные концентрации вредных веществ (мг/м^3) (диоксид серы, зола) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника (50, 100, 200, 400, 1000, 3000, 5000, 10000) при опасной скорости ветра по исходным данным, приведенным в приложении.

Результаты свести в две таблицы (по одной для каждого вещества) (заголовки полей таблицы: x, m ; s_1 ; $c, \text{мг/м}^3$).

3. По данным таблиц, полученных в п.1, построить два линейных (тип графика: точечный) графика (по одному для каждого вещества), отражающих изменение приземной концентрации вещества с расстоянием.

Примечания:

- расчет должен сопровождаться пояснениями. То есть, для расчетов, где используются формулы, должны приводиться формулы, сделанные в редакторе формул, а также краткое описание того, что они получают (см. пример на рисунке 3).

Определим перегрев газовой смеси

$\Delta T =$	<u>100,000</u>	$\Delta T = T_r - T_e$	
--------------	----------------	------------------------	--

Рисунок 3 – Пример описания расчета для определения перегрева газовой смеси

- при расчетах, где в зависимости от входных параметров расчетные формулы могут меняться, приводить описание того, по какой формуле выполняется расчет (см. рисунок 4). Список возможных вариантов формулировок формируется самостоятельно исходя из информации, приведенной в настоящем документе.

8. Определим параметр n									
n=	<u>1,000</u>	при f<100 и ΔT≠0				при f≥100 или ΔT=0			
		n = 1 при u _м ≥2 (8.1)				n = 1 при u' _м ≥2 (8.4)			
		n = 0,532u _м ² - 2,13u _м + 3,13 при 0,5≤u _м <2 (8.2)				n = 0,532u' _м ² - 2,13u' _м + 3,13 при 0,5≤u' _м <2 (8.5)			
		n=4,4u _м при u _м <0,5 (8.3)				n=4,4u' _м при u' _м <0,5 (8.6)			
Т.к. Um≥2 и f<100, то расчет выполняется по формуле 8.1									

Рисунок 4 – Пример расчета параметра n с объяснением того, как получено это значение

- расчет должен быть сделан универсальным, т.е. при смене значений в исходных данных должен получаться правильный результат с учетом приведенной методики;

- для всех расчетных значений точность должна составлять 3 знака после запятой;

- для графика: шрифт Times New Roman 12, основные деления осей направить внутрь, убрать контур и заливку для области диаграммы и области построения, легенду расположить снизу. Подписать оси.

Таблица 13 – Характеристики точечного источника выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

№ п.п.	Характеристика	Обозначение	Единица	Значение	
1	Число дымовых труб	N	шт.	1	
2	Высота дымовых труб	H	м	35	
3	Диаметр устья трубы	D	м	1,4	
4	Скорость выхода газовой смеси	ω_0	м/с	7	
5	Температура газовой смеси	T _г	°C	125	
6	Температура окружающего воздуха	T _в	°C	25	F
7	Выброс диоксида серы	M _{so2}	г/с	12	1
8	Выброс золы	M _з	г/с	2,6	3
9	Коэффициенты в формуле 2.1	A		160	
		η		1	
10	Максимальные разовые предельно допустимые концентрации (ПДК):				
	диоксида серы		мг/м ³	0,5	
	Золы		мг/м ³	0,5	

Ниже представлены выдержки из методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий

РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ОДИНОЧНОГО ИСТОЧНИКА

(выдержки из методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий)

2.1 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества c_m (мг/м³) при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m (м) от источника и определяется по формуле

$$c_m = \frac{AMFm\eta}{H^2 \sqrt{V_1 \Delta T}} \quad (2.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;

M (г/с) – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H (м) – высота источника выброса над уровнем земли (для наземных источников при расчетах принимается $H=2$ м);

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (см. раздел 4), в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta=1$;

ΔT (°C) – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_c и температурой окружающего атмосферного воздуха T_a ;

V_1 (м³/с) – расход газовой смеси, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0 \quad (2.2)$$

где D (м) – диаметр устья источника выброса;

ω_0 (м/с) – средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса.

2.2 Значение коэффициента A , соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным:

а) 250 – для районов Средней Азии южнее 40° с. ш., Бурятской АССР и Читинской области;

б) 200 – для Европейской территории СССР: для районов РСФСР южнее 50° с. ш., для остальных районов Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии; для Азиатской территории СССР: для Казахстана, Дальнего Востока и остальной территории Сибири и Средней Азии;

в) 180 – для Европейской территории СССР и Урала от 50 до 52° с. ш., за исключением попадающих в эту зону перечисленных выше районов и Украины;

г) 160 – для Европейской территории СССР и Урала севернее 52° с.ш. (за исключением Центра ЕТС), а также для Украины (для расположенных на Украине источников высотой менее 200 м в зоне от 50 до 52° с. ш. – 180, а южнее 50° с.ш. – 200);

д) 140 – для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской областей.

Примечание. Для других территорий значения коэффициента A должны приниматься соответствующими значениям коэффициента A для районов СССР со сходными климатическими условиями турбулентного обмена.

2.3 Значения мощности выброса M (г/с) и расхода газовой смеси V_1 (м³/с) при проектировании предприятий определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами. В расчете принимаются сочетания M и V_1 , реально имеющие место в течение года при установленных (обычных) условиях эксплуатации предприятия, при которых достигается максимальное значение см.

Примечания: 1. Значение M следует относить к 20-30-минутному периоду осреднения, в том числе и в случаях, когда продолжительность выброса менее 20 мин.

2. Расчеты концентраций, как правило, проводятся по тем веществам, выбросы которых удовлетворяют требованиям п. 5.21.

2.4 При определении значения ΔT (°C) следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха T_e (°C), равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года по СНиП 2.01.01-82, а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси T_g (°C) – по действующим для данного производства технологическим нормативам.

Примечания: 1. Для котельных, работающих по отопительному графику, допускается при расчетах принимать значения T_e равными средним температурам наружного воздуха за самый холодный месяц по СНиП 2.01.01-82.

2. При отсутствии данных по T_e в СНиП 2.01.01-82 они запрашиваются в территориальном управлении Госкомгидромета (УГКС) по месту расположения предприятия.

2.5 Значение безразмерного коэффициента F принимается:

а) для газообразных вредных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) – 1;

б) для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных в п. 2.5а) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов не менее 90% – 2; от 75 до 90% — 2,5; менее 75% и при отсутствии очистки – 3.

Примечания: 1. При наличии данных о распределении на выбросе частиц аэрозолей по размерам определяются диаметр d_g , так что масса всех частиц диаметром больше d_g составляет 5% общей массы частиц, и соответствующая d_g скорость оседания v_g (м/с). Значение коэффициента F устанавливается в зависимости от безразмерного отношения v_g/v_m , где v_m – опасная скорость ветра (см. п.2.9). При этом $F=1$ в случае $v_g/v_m \leq 0,015$ и $F=1,5$ в случае $0,015 < v_g/v_m \leq 0,030$. Для остальных значений v_g/v_m коэффициент F устанавливается согласно п. 2.56.

2. Вне зависимости от эффективности очистки значение коэффициента F принимается равным 3 при расчетах концентраций пыли в атмосферном воздухе для производств, в

которых содержание водяного пара в выбросах достаточно для того, чтобы в течение всего года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например, при производстве глинозема мокрым способом).

2.6 Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f , v_m , v'_m и f_e .

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \Delta T} \quad (2.3)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}} \quad (2.4)$$

$$v'_m = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H} \quad (2.5)$$

$$f_e = 800(v'_m)^3 \quad (2.6)$$

Коэффициент m определяется в зависимости от f по рис. 2.1 или по формулам:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \text{ при } f < 100 \quad (2.7a)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, \text{ при } f \geq 100 \quad (2.7b)$$

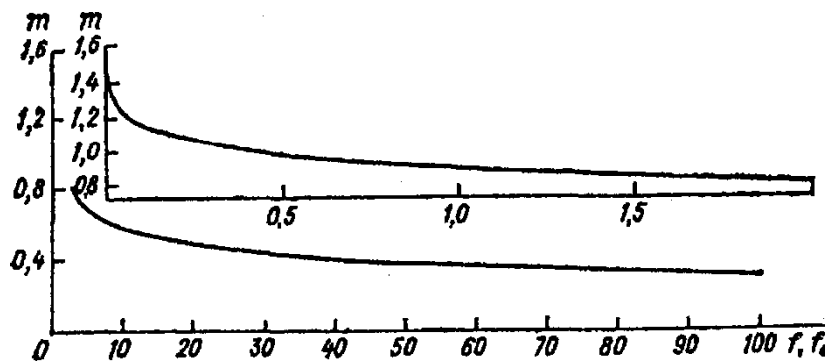


Рис. 2.1

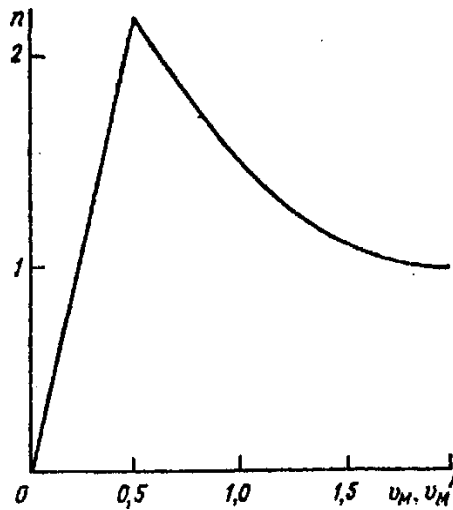


Рис. 2.2

Для $f_e < f < 100$ значение коэффициента n вычисляется при $f = f_e$.

Коэффициент n при $f < 100$ определяется в зависимости от v_m по рис. 2.2 или формулам:

$$n = 1, \text{ при } v_m \geq 2 \quad (2.8a)$$

$$n = 0,532v_m^2 - 2,13v_m + 3,13, \text{ при } 0,5 \leq v_m < 2 \quad (2.8б)$$

$$n = 4,4v_m, \text{ при } v_m < 0,5 \quad (2.8в)$$

При $f \geq 100$ или $\Delta T \approx 0$ коэффициент n вычисляется по п. 2.7.

2.7 Для $f \geq 100$ (или $\Delta T \approx 0$) и $v'_m \geq 0,5$ (холодные выбросы) при расчете c_m вместо формулы (2.1) используется формула

$$c_m = \frac{AMFn\eta}{H^{4/3}} K \quad (2.9)$$

где

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1\sqrt{\omega_0 V_1}} \quad (2.10)$$

причем n определяется по формулам (2.8a) – (2.8в) при $v_m = v'_m$.

Аналогично при $f < 100$ и $v_m < 0,5$ или $f \geq 100$ и $v'_m < 0,5$ (случаи предельно малых опасных скоростей ветра) расчет c_m вместо (2.1) производится по формуле

$$c_m = \frac{AMFm'\eta}{H^{7/3}} \quad (2.11)$$

где

$$m' = 2,86t \text{ при } f < 100, v_m < 0,5 \quad (2.12a)$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, v'_m < 0,5 \quad (2.12б)$$

Примечание. Формулы (2.9), (2.11) являются частными случаями общей формулы (2.1).

2.8 Расстояние x_m (м) от источника выбросов, на котором приземная концентрация c (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения см, определяется по формуле

$$x_m = \frac{5 - F}{4} dH \quad (2.13)$$

где безразмерный коэффициент d при $f < 100$ находится по формулам:

$$d = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}), \text{ при } v_m \leq 0,5 \quad (2.14a)$$

$$d = 4,95v_m(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}), \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad (2.14б)$$

$$d = 7\sqrt{v_m}(1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}), \text{ при } v_m > 2 \quad (2.14в)$$

При $f \geq 100$ или $\Delta T \approx 0$ значение d находится по формулам:

$$d = 5,7 \text{ при } v'_m \leq 0,5 \quad (2.15a)$$

$$d = 11,4v'_m, \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2 \quad (2.15б)$$

$$n = 16\sqrt{v'_m}, \text{ при } v'_m > 2 \quad (2.15в)$$

2.9 Значение опасной скорости u_m (м/с) на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ см, в случае $f < 100$ определяется по формулам:

$$u_m = 0,5, \text{ при } v_m \leq 0,5 \quad (2.16a)$$

$$u_m = v_m, \text{ при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad (2.16б)$$

$$u_m = v_m(1 + 0,12\sqrt{f}), \text{ при } v_m > 2 \quad (2.16в)$$

При $f \geq 100$ или $\Delta T \approx 0$ значение u_m вычисляется по формулам:

$$u_m = 0,5, \text{ при } v'_m \leq 0,5 \quad (2.17a)$$

$$u_m = v'_m, \text{ при } 0,5 < v'_m \leq 2 \quad (2.17б)$$

$$u_m = 2,2v'_m, \text{ при } v'_m > 2 \quad (2.17в)$$

2.10 Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества c_{mi} (мг/м³) при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра u_m (м/с), определяется по формуле

$$c_{mi} = r_{cm} \quad (2.18)$$

где r – безразмерная величина, определяемая в зависимости от отношения u/u_m по рис. 2.3 или по формулам:

$$r = 0,67 \left(\frac{u}{u_m} \right) + 1,67 \left(\frac{u}{u_m} \right)^2 - 1,34 \left(\frac{u}{u_m} \right)^3 \quad \text{при } \frac{u}{u_m} \leq 1 \quad (2.19a)$$

$$r = \frac{3(u/u_m)}{2 \left(\frac{u}{u_m} \right)^2 - \left(\frac{u}{u_m} \right) + 2} \quad \text{при } \frac{u}{u_m} > 1 \quad (2.19б)$$

Примечание. При проведении расчетов не используются значения скорости ветра $u < 0,5$ м/с, а также скорости ветра $u > u^*$, где u^* – значение скорости ветра, превышаемое в данной местности в среднем многолетнем режиме в 5% случаев. Это значение запрашивается в УГКС Госкомгидромета, на территории которого располагается предприятие, или определяется по климатическому справочнику.

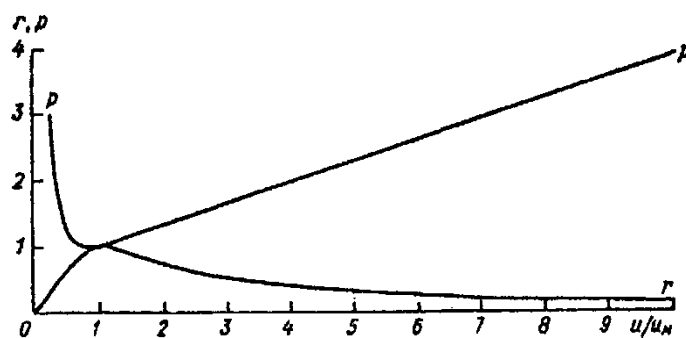


Рис. 2.3

2.11 Расстояние от источника выброса x_{mi} (м), на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения c_{mi} (мг/м³), определяется по формуле

$$x_{mi} = p x_m \quad (2.20)$$

где p – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_m по рис. 2.3 или по формулам:

$$p = 3 \text{ при } \frac{u}{u_m} \leq 0,25 \quad (2.21a)$$

$$p = 8,43 \left(1 - \frac{u}{u_m}\right)^5 + 1 \text{ при } 0,25 < \frac{u}{u_m} \leq 1 \quad (2.21б)$$

$$p = 0,32 \frac{u}{u_m} + 0,68 \text{ при } \frac{u}{u_m} > 1 \quad (2.21в)$$

2.12 При опасной скорости ветра u_m приземная концентрация вредных веществ c (мг/м³) в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях x (м) от источника выброса определяется по формуле

$$c = s_1 c_m \quad (2.22)$$

где s_1 – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_m по рис. 2.3 или по формулам:

$$s_1 = 3 \left(\frac{x}{x_m}\right)^4 - 8 \left(\frac{x}{x_m}\right)^3 + 6 \left(\frac{x}{x_m}\right)^2 \text{ при } \frac{x}{x_m} \leq 1 \quad (2.23a)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} \text{ при } 1 < \frac{x}{x_m} \leq 8 \quad (2.23б)$$

$$s_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{3,58 \left(\frac{x}{x_m}\right)^2 - 35,2 \left(\frac{x}{x_m}\right) + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } \frac{x}{x_m} > 8 \quad (2.23в)$$

$$s_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{0,1 \left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 2,47 \left(\frac{x}{x_m}\right) - 17,8} \text{ при } F > 1,5 \text{ и } \frac{x}{x_m} > 8 \quad (2.23г)$$

Тема 4. Моделирование атмосферного загрязнения в специализированном ПО: расчет концентраций, построение изолиний и анализ зон воздействия.

Цель: освоить применение специализированного программного обеспечения для комплексного моделирования распространения загрязняющих веществ от промышленных источников.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного и специализированного программного обеспечения, включая унифицированные программы расчёта загрязнения

атмосферы (УПРЗА «Эколог» или УПРЗА "Web-Призма" предприятие) а также электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги).

Задание к практической работе: с использованием унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы необходимо сделать расчет приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере, а также построить изолинии и таблицу со значениями в узлах расчетной решетки.

Исходные данные, необходимые для выполнения работы:

- два точечных источника выброса загрязняющих веществ в атмосферу с одинаковыми параметрами (параметры приведены в таблице 14);
- координаты расчетного прямоугольника –(0;0); (10000;0);
- шаг сетки – 500 м;
- координаты 1 точечного источника выброса – 3,5 км; 0 км;
- координаты 2 точечного источника выброса- 4,3 км; 0 км;
- источник осуществляет выбросы в режиме 24/7/365.

Таблица 14 – Характеристики точечного источника выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

№ п.п.	Характеристика	Обозначение	Единица	Значение
1	Число дымовых труб	N	шт.	1
2	Высота дымовых труб	H	м	50
3	Диаметр устья трубы	D	м	1,8
4	Скорость выхода газовойздушной смеси	ω_0	м/с	8
5	Температура газовойздушной смеси	T _г	°С	125
6	Температура окружающего воздуха	T _в	°С	19
7	Выброс диоксида серы	M _{so2}	г/с	15
			т/год	473
8	Выброс золы сланцевой	M _з	г/с	3,8
			т/год	119,8
9	Коэффициенты	A		160
		η		1
	Время работы источника (в часах в год)	t	час/год	8760

Тема 5. Применение ГИС для оценки рисков, моделирования сценариев и принятия решений на основе пространственного анализа.

Цель: освоить комплексное применение ГИС-технологий для моделирования рельефа, анализа зон затопления и визуализации результатов при различных гидрологических сценариях.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного программного обеспечения, включая электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги), а также географической информационной системой QGIS.

Задание к практической работе:

1. Добавить в качестве слоя точечных объектов данные из файла «Задание_1_Фамилия.csv» (файл выдается преподавателем на практическом занятии) (система координат Pulkovo 1942 / 3-degree Gauss-Kruger CM 21E);

2. Интерполировать данные по высоте (атрибут «H_m» слоя точечных объектов из п.1 задания) методом «Ordinary Kriging (SAGA)» в растровый слой;

3. Отрисовку изображения полученного в п.2 растрового слоя сделать одноканальным псевдоцветным в виде инвертированного градиента Spectral: для синего цвета задать значение 0, зеленого – 0,1, желтого – 12, оранжевого – 26, красного – 43.

4. Извлечь из полученного растра слой изолиний с шагом 1 м.

5. Задать параметры стиля для изолиний из файла «стиль изолиний общий.qml».

6. Добавить для изолиний надписи, в качестве которых отобразить значения высоты: режим размещения – вдоль кривых, разрешенные позиции – на линии. Остальные параметры оставить по умолчанию.

7. Для растрового слоя, полученного в п.2, выполнить создание слоя теневого рельефа: масштабирование по $Z = 1$, масштаб (соотношение вертикальных единиц к горизонтальным) = 5, включена опция «обрабатывать края», остальные параметры – по умолчанию.

8. Отрисовку изображения теневого рельефа сделать одноканальным псевдоцветным в виде инвертированного градиента Greys, вместо черного цвета градиента задать цвет с кодом HTML #8f8f8f. Режим смешивания отрисовки установить в «умножение». Прозрачность слоя задать 50%.

9. Создать макет, расположив в нем 5 карт для разных уровней воды (0, 2, 5, 7 и 10 м) (последовательность действий: задать в слое растра (п.2 задания) 0^{ой} уровень воды, в макете добавить 1ую карту (масштабирование: 1000), расположить ее на листе макета, зафиксировать слой и стили слоев в свойствах элемента карты (чтобы карта в макете не обновлялась при ее изменении в основном окне QGIS), добавить снизу карты элемент «надпись» с текстом «0м». Далее задать уровень воды 2м в слое растра, добавить 2ую карту (масштабирование: 1000), расположить ее на листе макета, зафиксировать слой и стили слоев в свойствах элемента карты, добавить снизу карты элемент надпись с текстом «2м». И так далее для остальных уровней воды) (см. рисунок 5).

10. Создать GeoPackage базу данных, задав в качестве имени файла свою фамилию (например, Aldushin.gpkg).

11а. Создать в базе данных новую таблицу (слой) (имя «Площади_затоплений», тип геометрии: площадная, система координат Pulkovo 1942 / 3-degree Gauss-Kruger CM 21E) со следующим набором полей:

- Уровень_воды: целое число (integer);
- Площадь_акватории_м²: десятичное число (double);
- Пл_затопл_террит_м²: десятичное число (double).

и добавить в проект.

12а. Оцифровать объекты для созданного в п.11.а слоя для уровней воды 0, 2, 5, 7 и 10 м. В случае, когда при заданном уровне воды появляются «острова» (напр. на рисунке в п. 9 при уровне воды 5 м), их необходимо вырезать из оцифрованного объекта путем использования инструмента «Добавить кольцо» (Правка-Редактировать геометрию).

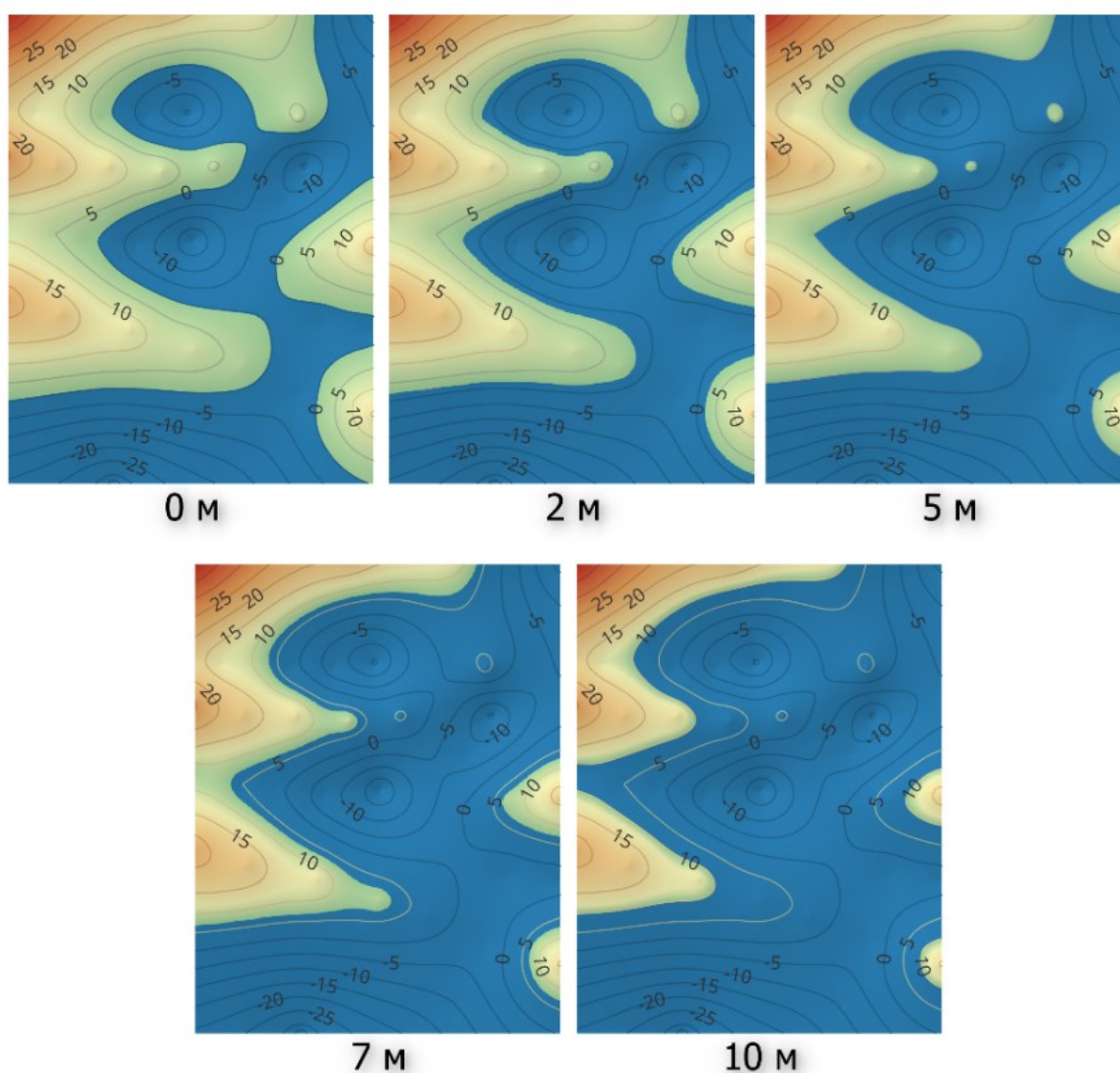
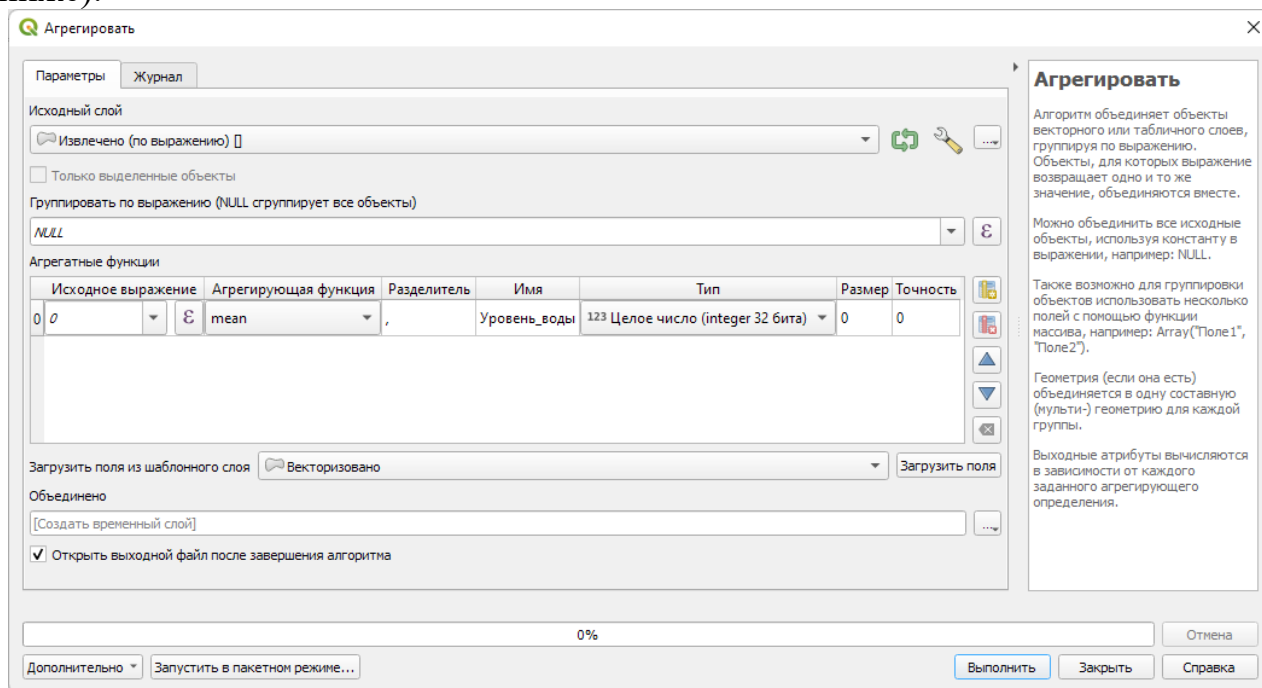


Рисунок 5 – Образец оформления макета карты

11б. Вместо ручной оцифровки зон затоплений при разных уровнях воды можно воспользоваться их автоматическим определением через запросы. Для этого необходимо выполнить инструмент «Создание полигонов (растр в

вектор)» по слою, полученному в п.2. Далее с помощью инструмента «Извлечь по выражению» необходимо из векторизованного слоя (полученного ранее в п.11б) извлечь объекты, у которых высота меньше либо равна 0м (выражение "DN" <=0). Извлеченные объекты необходимо агрегировать (объединить в один объект) с помощью функции «Агрегировать» (группировка по выражению не используется, исходные поля из списка, для которых задаются агрегатные функции, удаляются, добавляется новое поле и исходным значением, равным текущему уровню воды (0), агрегирующая функция выставляется в значение «mean» (среднее) (или «maximum» (максимум) или «minimum» (минимум), чтобы из набора нескольких одинаковых значений получить исходную величину), имя поля: «Уровень_воды», тип поля: «целое число») (см. рис. ниже).



Аналогичные действия по извлечению и агрегированию выполняются для остальных уровней воды (2, 5, 7 и 10 м) (при агрегировании имя и поля задаются такими же, исходное значение задается равным текущему уровню воды).

12б. Объединяем полученные в п.11а слои в один слой, используя команду «Объединить векторные слои». Сохраняем слой в GeoPackage базу данных (п.10) с именем «Площади_затоплений».

13. В таблице атрибутов слоя «Площади_затоплений» для поля «Площадь_акватории_м2» рассчитать площадь в м² (если поле не было создано ранее, его можно создать в калькуляторе поля непосредственно при задании формулы для вычисления площади).

14. В таблице атрибутов слоя «Площади_затоплений» для поля «Пл_затопл_террит_м2» рассчитать площадь затопленных территорий при повышении уровня воды относительно нулевого уровня (если поле не было создано ранее, его можно создать в калькуляторе поля непосредственно при

задании формулы) (для расчета площадей затопленных территорий относительно 0^{го} уровня воды можно воспользоваться функциями `attribute` и `get feature`:

a. `attribute(attribute_name)` – возвращает значение атрибута `'attribute_name'` текущего объекта;

b. `attribute(feature, attribute_name)` – возвращает значение атрибута `'attribute_name'` объекта `'feature'`

c. `get_feature(layer, attribute, value)` – возвращает первый объект, найденный в слое `'layer'` со значением `'value'` в поле `'attribute'`

Например, с помощью функций `get_feature(layer, attribute, value)` и `attribute(feature, attribute_name)` можно из слоя «Площади затоплений» получить значение поля «Площадь_акватории_м2» для уровня воды, равном 0:

`attribute(get_feature('Площади_затоплений','Уровень_воды',0),'Площадь_акватории_м2')`

а с помощью функции `attribute(attribute_name)` можно получить значения площади акватории, рассчитанные в п.13

`attribute('Площадь_акватории_м2')`

Вычитая из текущей площади акватории площадь акватории для нулевого уровня воды, получим площади затопленных территорий.

15. Создать новый макет по следующему образцу (см. рисунок 6).

Площади зон затопления территорий вблизи водохранилища при повышении уровня воды на 2, 5, 7 и 10 м

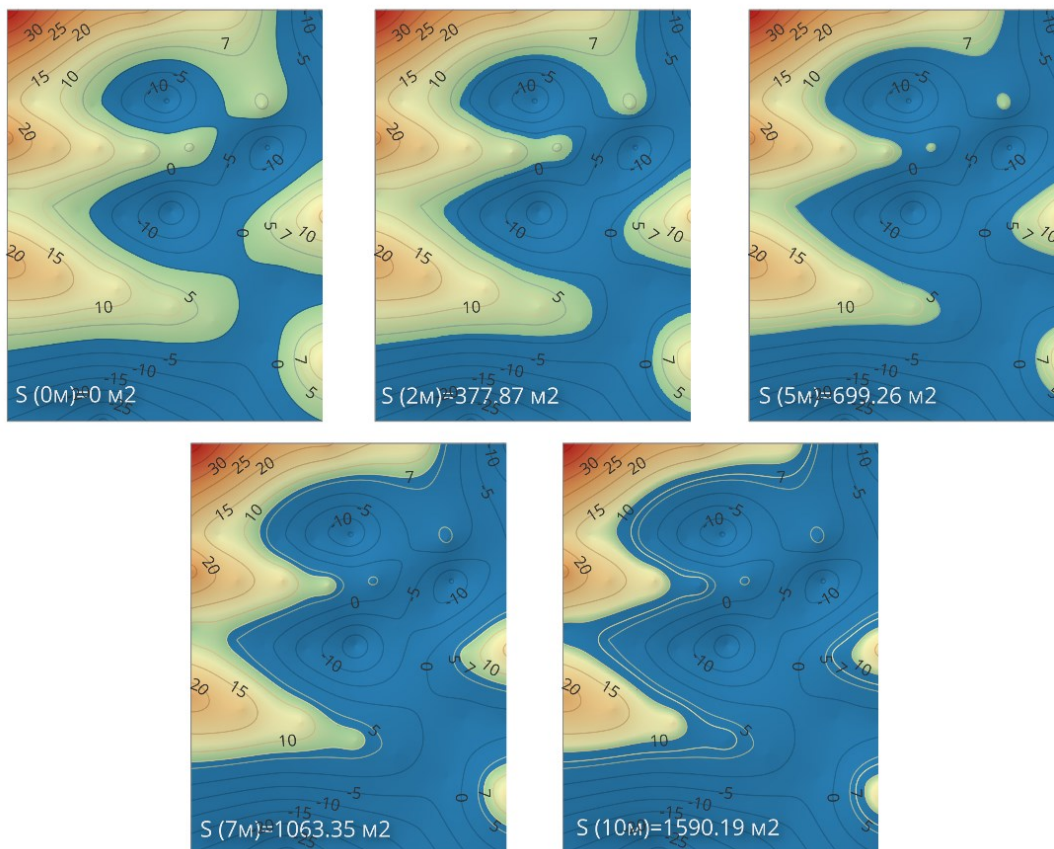


Рисунок 6 – Образец оформления нового макета карты

Надпись (в виде надписи слоя) со значением площади затопленных территорий для соответствующего уровня воды может быть представлена формулой, включающей в себя следующие составляющие (см. пояснения ниже и рис. выше):

- здесь символ || означает объединение двух значений в одну строку,
- текстовые значения, вводимые с клавиатуры, пишутся в одинарных кавычках:

'S (' – последовательность трех символов: буквы *S*, пробела и открывающей круглой скобки

'м)' – последовательность трех символов: буквы *м*, закрывающей круглой скобки и знака равно

' м2' – последовательность трех символов: пробела, буквы *м* и числа 2

- имена полей, с которых берутся значения, указываются в двойных скобках: "Уровень воды", "Пл_затопл_террит_м2"

- функция *round(value[,places:=0])* – округляет число (*value*) до заданного количества знаков (*places*) после запятой, квадратные скобки для аргумента функции *places []* означают необязательность аргументов

Тема 6. Моделирование различных параметров (температуры, концентраций и др.) в экологических исследованиях.

Цель: освоить применение ГИС-технологий для построения, анализа и визуализации пространственных моделей поверхностей (на примере рельефа дна водоёма) с использованием методов интерполяции, обработки векторных и растровых данных, а также трёхмерного моделирования.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного программного обеспечения, включая электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги), а также географической информационной системой QGIS.

Задание к практической работе:

1. Добавить в качестве слоя точечных объектов данные из файла «EchoData_Фамилия.csv» (система координат WGS84 EPSG:4326);

2. Перепроецировать систему координат слоя, добавленного в пункте 1, в Pulkovo 1942 / 3-degree Gauss-Kruger CM 21E (название нового слоя «EchoData_Projected»). Систему координат проекта установить такую же.

3. Добавить в слой, полученный на шаге 2, новое поле Depth1, в качестве значений которого задать значения поля Depth со знаком минус (чтобы значения глубин получились отрицательные);

4. Интерполировать данные по глубине (атрибут «Depth1» слоя точечных объектов из п.3 задания) методом «Ordinary Kriging (SAGA)» в растровый слой. Размер ячейки растра (cellsize) установить 1, модель вариограммы – линейная, параметр «maximum distance» определить, используя приложение SAGA в папке «QGIS...» на рабочем столе;

5. Добавить в качестве слоя точечных объектов данные из файла «Contour.csv» (система координат WGS84 EPSG:4326);

6. Используя инструмент «Точки в контур», создать линейный слой, очерчивающий береговую линию водоема (сохранить результат («Пути») в слой «Контур_водоема»);

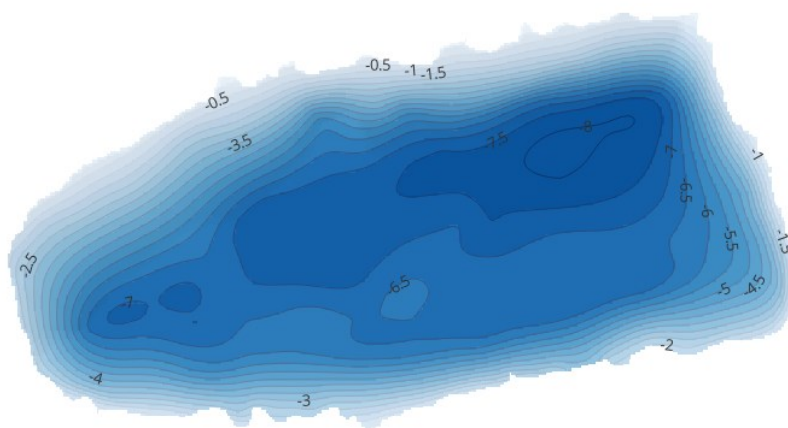
7. Используя инструмент «Линии в полигоны», слой линейных объектов, полученных на шаге 6, преобразовать в площадные объекты (слой «Контур»);

8. Сделать обрезку по маске полученного на шаге 4 растра на основании контура, полученного на шаге 7;

9. Отрисовку изображения, полученного в п.8 растрового слоя, сделать одноканальным псевдоцветным в виде инвертированного градиента Blues: интерполяция «дискретная», режим «равные интервалы», количество классов должно быть таким, чтобы обеспечить интервалы через 0,5 м.

10. Извлечь из полученного в пункте 8 растра слой изолиний с шагом 0,5 м. В настройках стиля задать символизацию по уникальным значениям по полю, содержащему значения глубин, создать градиент из двух цветов: цвет 1 – код html #0b3268, цвет 2 – код html #ecf0f4.

11. Добавить для изолиний надписи, в качестве которых отобразить значения глубины: режим размещения – вдоль кривых, разрешенные позиции – на линии. Через панель «Инструменты подписей», используя опцию «Показать/скрыть подписи и диаграммы», скрыть нулевые и повторяющиеся значения глубин (см. рис. ниже);

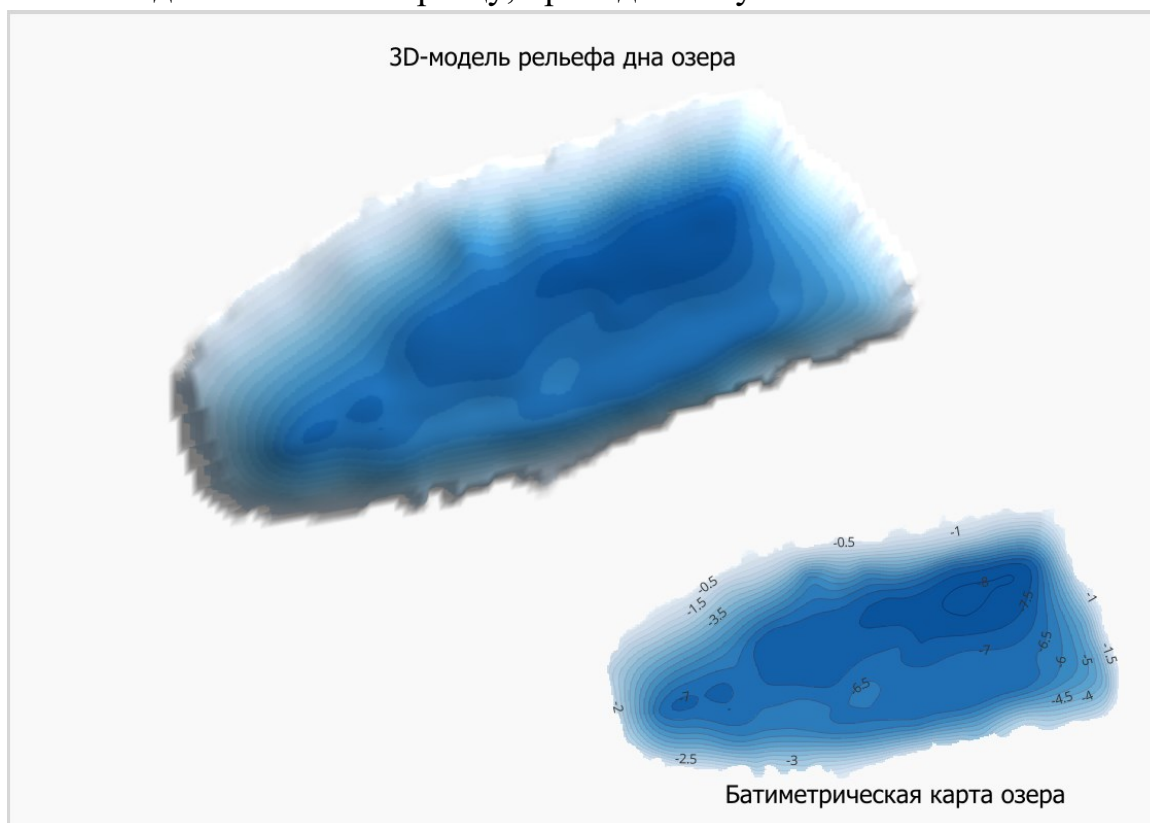


12. Для растрового слоя, полученного в п.8, выполнить создание слоя теневого рельефа: масштабирование по $Z = 10$, масштаб (соотношение вертикальных единиц к горизонтальным) = 1, включена опция «обрабатывать края», остальные параметры – по умолчанию.

13. Отрисовку изображения теневого рельефа сделать одноканальным псевдоцветным в виде инвертированного градиента Greys, вместо черного цвета градиента задать цвет с кодом HTML #8f8f8f. Режим смешивания отрисовки установить в «умножение». Прозрачность слоя задать 50 %.

14. Используя модуль «Qgis2threejs», создать трехмерное изображение рельефа дна озера по слою, полученному в п.8. В настройках сцены (Scene settings) параметр z-exaggeration выставить таким образом, чтобы вид 3D-модели соответствовал рисунку, приведенному ниже. Полученный 3D-вид экспортировать в виде изображения с расширением png.

15. Создать макет по образцу, приведенному ниже.



Тема 7. ГИС-анализ речных систем: от цифровой модели рельефа к моделированию водосборных бассейнов.

Цель: освоить методы гидрологического анализа на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) с использованием ГИС-технологий, включая пространственную обработку данных, моделирование водосборных бассейнов и каналов, а также визуализацию результатов.

Оборудование и необходимое программное обеспечение: компьютеры с предустановленным набором офисного программного обеспечения, включая электронные таблицы, текстовый редактор (MS Office или аналоги), а также географической информационной системой QGIS.

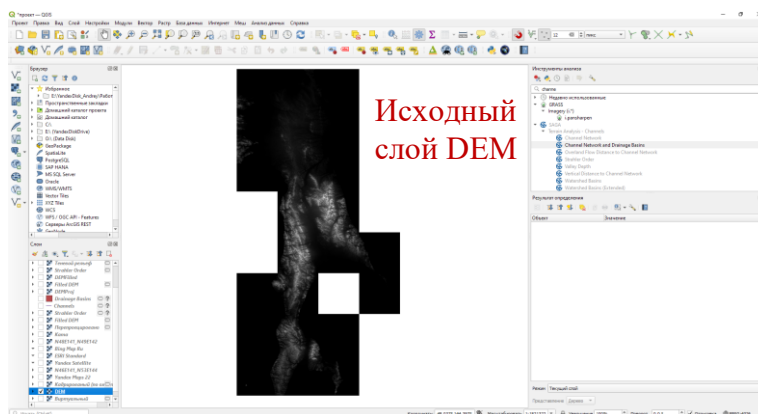
Задание к практической работе:

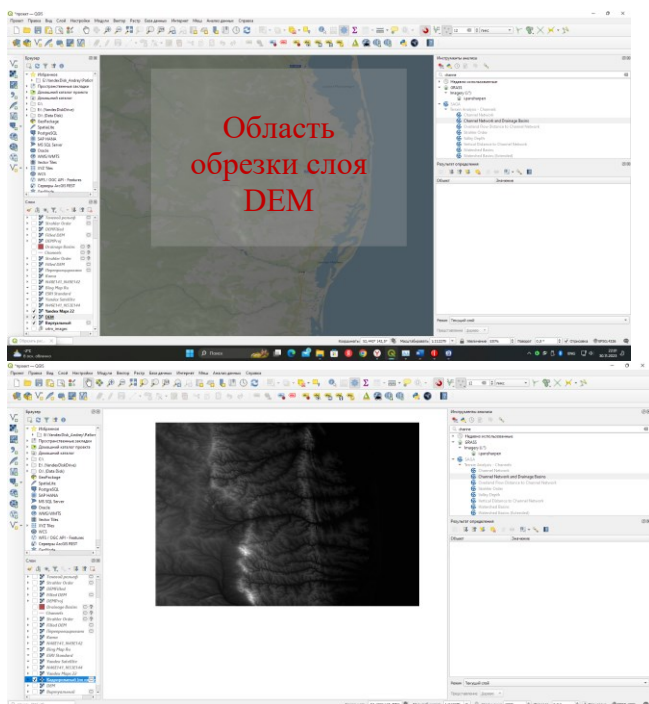
1. Добавить в качестве растрового слоя ЦМР (Цифровая Модель Рельефа (DEM - Digital Elevation Model)) файл «DEM.tif» (выдается преподавателем на практическом занятии);

2. Найти на растровом слое, добавленном в п.1, участок с рекой в соответствии с вариантом (см. табл. ниже).

№ варианта	Река	Изображение (фрагмент карты с рекой для удобства ее поиска)
1	р. Виахту	Вариант№1.png
2	р. Теньги	Вариант№2.png
3	р. Пильтун	Вариант№3.png
4	р. Набилъ	Вариант№4.png
5	р. Нитуй	Вариант№5.png
6	р. Кострома	Вариант№6.png
7	р. Обутонай	Вариант№7.png
8	р. Лютога	Вариант№8.png
9	р. Черная	Вариант№9.png
10	р. Макарова	Вариант№10.png

С целью более удобного поиска участка можно воспользоваться модулем QuickMapServices, добавив карту в качестве слоя. После нахождения необходимого фрагмента территории, необходимо обрезать исходный растр DEM по охвату (группа инструментов растра «извлечение»), указав на карте область обрезки (с некоторым запасом относительно видимых границ реки на карте). В результате получим фрагмент исходного DEM-файла, который используем для выполнения дальнейших пунктов задания.





Результат
обрезки растра
по охвату

3. Перепроецировать систему координат слоя, полученного в пункте 2, в Pulkovo 1942 / 3-degree Gauss-Kruger CM 141E (название нового слоя «DEMProj»). Систему координат проекта установить такую же.

4. На основании ЦМР, полученной в п.3, сформировать сеть крупных каналов и водосборных бассейнов для указанной реки в соответствии с вариантом, представленным в таблице выше. Сеть каналов должна включать в себя относительно крупные водотоки (путем подбора параметра Threshold, например, используя инструмент StrahlerOrder и калькулятор растров (как это делалось на занятии)).

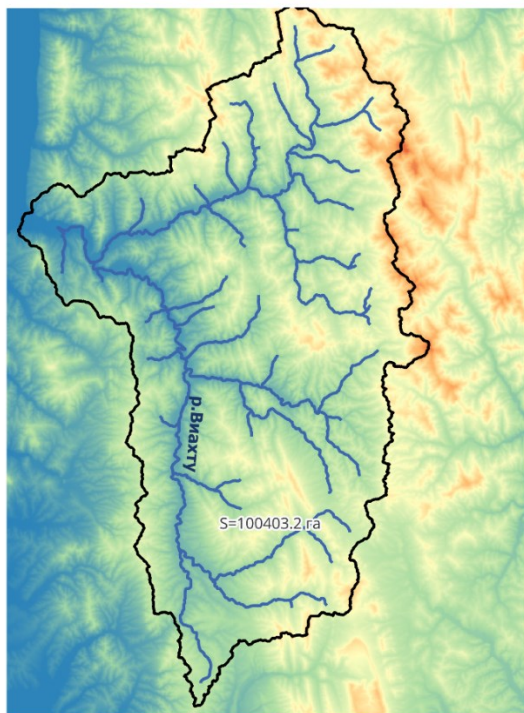
5. Извлечь из полученных водосборных бассейнов бассейн своей реки. То же самое проделать с сетью каналов (т.е. оставить только те, которые находятся внутри водосборного бассейна).

6. Рассчитать площадь водосборного бассейна своей реки и отобразить ее в виде подписи слоя по образцу, приведенному на рис. ниже;

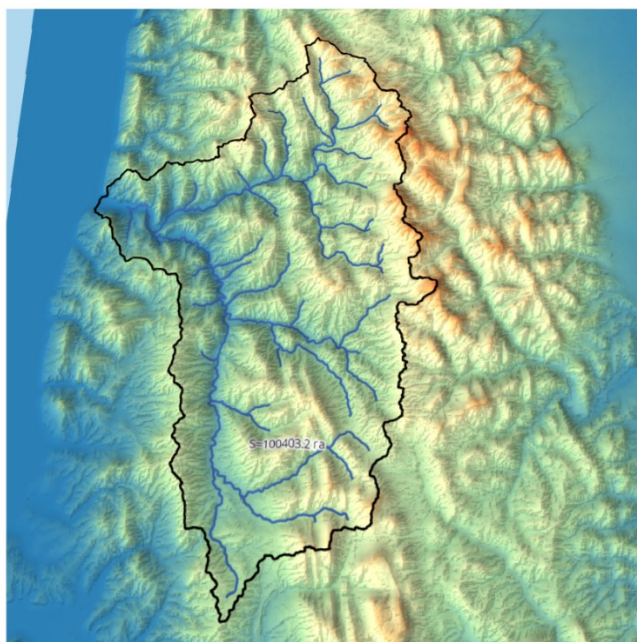
7. Оформить карту и создать макет по образцу, представленному ниже.

Водосборный бассейн реки Виахту

2D-изображение



3D-визуализация



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате освоения дисциплины у студента формируются знания, умения и навыки по применению математических методов моделирования с целью прогнозирования динамики экосистем при изменении внешних условий под влиянием антропогенной активности.

В результате изучения дисциплины студент должен знать базовые положения фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом экологических наук для обработки информации и анализа данных по экологии и природопользованию; основы системного подхода применительно к экологическим системам; основные методы и этапы математического моделирования. Уметь применять методы математического моделирования в решении экологических вопросов; применять современные информационные технологии для математического моделирования и прогнозирования экологических задач. Владеть базовыми знаниями в области информатики и современных геоинформационных технологий; основными типами информационных систем, используемых при математическом моделировании и прогнозировании экологических задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература:

1. Прохорова, Н. В. Математическое моделирование в биологии и экологии: учебное пособие / Н. В. Прохорова. – Самара: Самарский университет, 2021. – 64 с. – ISBN 978-5-7883- 1690-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/256877> (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература:

1. Хоменко, Т. А. Компьютерное моделирование средствами языка программирования PYTHON: учебно-методическое пособие / Т. А. Хоменко. – Москва: ФЛИНТА, 2024. – 162 с. – ISBN 978-5-9765-5491-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/402164> (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Матушкин, А. С. Картографирование и анализ пространственных данных с использованием геоинформационной системы QGIS: учебное пособие / А. С. Матушкин. – Киров : ВятГУ, 2018. – 100 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/164420> (дата обращения: 11.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Приказ Минприроды России от 11.08.2020 N 581 "Об утверждении методики разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61944)

4. Приказ Минприроды России от 29.12.2020 N 1118 (ред. от 08.05.2024) "Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61973)

Локальный электронный методический материал

Андрей Викторович Алдушин

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Редактор И. В. Голубева

Уч.-изд. л. 4,2. Печ. л. 3,7.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1