

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Н. Н. Цветкова

**АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ
ЭКОСИСТЕМЫ**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

Калининград
2023

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и
аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ» О.Е. Гончаренок

Цветкова, Н. Н.

Антропогенное воздействие на водные экосистемы: учеб.-методич.
пособие по выполнению лабораторных работ для студ. бакалавриата по напр.
подгот. 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура / **Н. Н. Цветкова.** –
Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 85 с.

В учебно-методическом пособии представлены учебно-методические
рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Антропогенное воздействие на водные экосистемы», включающие план
проведения занятий, используемое оборудование и материалы, алгоритм
проведения и обработки опытных данных, формы отчетов по лабораторным
занятиям.

Табл. 35, рис. 14, список лит. – 27 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое
пособие по выполнению лабораторных работ. Рекомендовано к использованию в
учебном процессе методической комиссией института рыболовства и
аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический
университет» университет» 25 сентября 2023 г., протокол № 17

УДК 579.2

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Цветкова Н.Н., 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лабораторная работа № 1. Изучение водных объектов Калининградской области.	6
Лабораторная работа № 2. Построение гидрографа равнинной реки.....	7
Лабораторная работа № 3. Расчленение гидрографа по типам питания.....	13
Лабораторная работа № 4. Расход повторяемости и обеспеченности расходов воды в реке	22
Лабораторная работа № 5. Определение характерных расходов воды в реках при отсутствии данных гидрологических наблюдений	26
Лабораторная работа № 6. Расчет переноса (выноса) растворенных в воде веществ через створ (на примере рек Калининградской области).....	31
Лабораторная работа № 7. Оценка удержания биогенных веществ в системах рек на российской части водосборного бассейна Балтийского моря (на примере рек Калининградской области)	33
Лабораторная работа № 8. Нормирование качества воды в водных объектах.....	44
Лабораторная работа № 9. Расчет индекса загрязненности вод (ИЗВ)	48
Лабораторная работа № 10. Расчет норматива допустимого (НДС) сброса загрязняющих веществ в водный объект	53
Лабораторная работа № 11. Расчет размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства.....	72
Литература	83

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ разработано для направления подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура (для очной и заочной форм обучения) по дисциплине «Антропогенное воздействие на водные экосистемы», входящей в элективный модуль по выбору 1 «Управление водными биоресурсами и рыбоохрана» части, формируемой участниками образовательных отношений.

Целью освоения дисциплины «Антропогенное воздействие на водные экосистемы» является получение комплексных знаний о структуре, свойствах, особенностях, антропогенном преобразовании и загрязнении водных экосистем; получение информации о способах защиты, охраны и рационального использования водных объектов суши, выработка осознания необходимости комплексного подхода в изучении и антропогенном использовании водных объектов.

Студент должен иметь представление об основных способах защиты водных экосистем, а также существующих методах расчета антропогенных нагрузок на водные экосистемы.

Таким образом, важным аспектом освоения дисциплины «Антропогенное воздействие на водные экосистемы» служит формирование комплексных знаний о структуре, свойствах, особенностях, антропогенном преобразовании и загрязнении водных экосистем; получение информации о способах защиты, охраны и рационального использования водных объектов суши, выработка осознания необходимости комплексного подхода в изучении и антропогенном использовании водных объектов.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- основные гидролого-экологические проблемы экосистем;
- основные принципы организации охраны, защиты, восстановления и использования ресурсов водных экосистем;
- комплекс антропогенных воздействий на водные экосистемы и способы их защиты;
- основополагающие международные и национальные нормативно-правовые документы, определяющие использование и охрану ресурсов водных экосистем.

уметь:

- пользоваться современными информационными технологиями для получения актуальной информации по комплексным вопросам, касающимся рационального использования и охраны водных экосистем;
- давать оценку степени антропогенной нагрузки на водные экосистемы;
- прогнозировать развитие и функционирование водных объектов с учетом существующей антропогенной нагрузки.

владеть:

- навыками анализа получаемой информации, формулирования выводов и заключений, подготовки презентационного материала, публичного выступления;
- способами расчета антропогенной нагрузки на водные экосистемы и ее интерпретации;
- сведениями об экологическом состоянии и степени антропогенного использования основных крупных экосистем морей, озер, водохранилищ и рек мира, РФ и Калининградской области.

В результате прохождения лабораторных работ у студентов формируются умения и навыки по выполнению расчетов нормативно-допустимых сбросов загрязняющих веществ в водный объект, определению ущерба водным объектам от нарушения водного законодательства, оценке биогенной нагрузки на водные объекты и ее интерпретации, сточки зрения понятия об антропогенном эвтрофировании водных объектов, сопоставлению полученных результатов с действующими нормативами качества поверхностных и подземных вод суши, применительно к разным нуждам водопользования, осуществлению поиска и анализу технической информации и документации в области охраны водных объектов.

Лабораторные работы по дисциплине Антропогенные воздействия на водные экосистемы проводятся в специализированной лаборатории, отвечающей соответствующим требованиям. Выполнение работ осуществляется при строгом соблюдении правил техники безопасности.

Лабораторная работа № 1. Изучение водных объектов Калининградской области.

Цель работы – изучить основные водные объекты Калининградской области, уметь находить их на географических картах и составлять физико-географическую характеристику.

Приборы и материалы

Географический атлас мира. Географический атлас Калининградской области. Пособие по региональной гидрологии. Топографическая карта Калининградской области. Контурная карта Калининградской области, ластик, карандаш, шариковая ручка с черными и синими чернилами.

Общие сведения

Территория Калининградской области по природным условиям выделена в отдельный гидрологический подрайон – ПБ – Калининградская низменность .

Здесь расположено около 150 озер и прудов площадью 61 км² и 239 болот площадью 821 км² , примерно пятая часть этой площади приходится на долю Виштынецкого озера. Преобладают небольшие и неглубокие водоемы площадью от 0,5 до 10 га. Коэффициент озерности 0,62. Почти все озера – проточные, большинство расположено в верхней части речных бассейнов, что увеличивает их стокорегулирующую роль, но снижает способность удержания биогенного стока.

В области широко представлены заболоченные земли и торфяные болота (около 6 % от общей площади области). Наиболее широко заболоченные площади распространены на побережье Куршского и Вислинского заливов, в пойме р. Преголи и устьевых частях пойм ее притоков, а также в дельте р. Немана.

Водотоки Калининградской области – равнинного типа, принадлежат бассейну Балтийского моря. По бассейновому принципу в области можно выделить следующие группы водотоков.

Залесенность большинства речных бассейнов малая, преобладают значения 13-14%. Минимальные значения характерны для рек Злая, Оса, Писса – 2-3 %, максимальные – для водотоков бассейна Куршского залива (до 32 %).

Уклоны поверхности водосборов весьма малые – средние – менее 0,001. Максимальные уклоны характерны рекам, дренирующим возвышенности (р. Писса, р. Прохладная, р. Инструч) – 0,023-0,01; минимальные – для водотоков дельты р. Немана (0,0004) и р. Преголи – 0,0001 и менее.

Номенклатуру водных объектов Калининградской области целесообразно изучать на основе бассейнового подхода, суть которого в сбалансированном управлении природопользованием, позволяющее скоординировать деятельность отраслевых и территориальных органов управления в решении вопросов водопользования в бассейне водного объекта. На территории Калининградской области можно выделить следующие бассейны и суббассейны водных объектов (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Водные объекты Калининградской области

1. Водосбор малых и самых малых рек, текущих в северном направлении и впадающих в Балтийское море. Включает бассейны р. Зеленая, р. Светлогорка, р. Чистая, р. Мотыль, р. Спокойная, р. Забава, р. Алейка, р. Медвежья.

2. Бассейн р. Приморской. 3. Бассейн р. Нельмы. 4. Бассейн р. Граевки. 5. Область стока в восточную часть Калининградского (Вислинского) залива. 6. Сточные каналы и мелиоративные каналы в районе п. Ладушкино. 7. Бассейн р. Мамоновки. 8. Бассейн р. Прохладной.

9. Водосбор малых и самых малых рек, текущих в северном направлении и впадающих в южную часть Куршского залива. Включает бассейны р. Зеленоградка, р. Большая Морянка, р. Малая Морянка, р. Куровка, р. Лобовка, р. Ольховка, р. Гурьевка, кан. Западный, кан. Восточный).

10. Бассейн р. Преголи. 10.1 Бассейн рукава Деймы. 10.2 Бассейн р. Лавы: 10.2.1 Бассейн р. Правды, 10.2.2 Бассейн р. Стоговки, 10.2.3 Бассейн р. Путиловки.

10.3 Бассейн р. Голубой.

10.4 Бассейн р. Анграпы: 10.4.1 Бассейн р. Писсы.

10.5 Бассейн р. Инструч

11. Бассейн р. Немана: 11.1 Область стока в восточную часть Куршского залива (кан. Матросовка, кан. Головкинский, р. Шлюзовая, р. Хлебная, р. Узкая, р. Широкая, р. Заячья, р. Улитка, р. Злая). 11.2 Бассейн р. Шешупе.

Реки Калининградской области преимущественно средней минерализации, гидрокарбонатно-кальциевые, в основном первого типа (тип вод зависит от многих причин, в том числе, от загрязнения, а потому изменчив), характеризуются паводочным режимом с неустойчивым ледоставом. Сильно загрязнены. Вдоль южной и восточной границ области все реки трансграничны.

Соотношение между отдельными источниками питания рек в Калининградской области представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Соотношение между отдельными источниками питания рек в Калининградской области

Вид питания	% от годового стока
Дождевое	37-48
Снеговое («весенний сток»)	26-37
Грунтовое	16-37

Практически вся территория области тем или иным образом осушается. В поймах рек, на низменных участках территории области расположено большое количество сбросных осушительных каналов, многие реки преобразованы в мелиоративные каналы. Приустьевые участки большинства рек, впадающих в Куршский и Калининградский заливы, регулируются польдерными системами, некоторые из которых в настоящее время в той или иной степени повреждены.

Ход работы

1. Изучить основную литературу по водным объектам Калининградской области.

2. Начать наносить на контурную карту Калининградской области водные объекты, согласно ниже приведенного списка.

Водные объекты Калининградской области.

Заливы. Куршский залив, Вислинский залив, Калининградский залив, бухта Приморская

Реки. р. Алейка, р. Большая Морянка, р. Забава, р. Зеленоградка, р. Светлогорка, р. Мамоновка (с притоком р. Витушка), р. Медвежья, р. Нельма, р. Неман, кан. Матросовка, р. Тыльжа, р. Шешупе, кан. Немонин, р. Злая, р. Луговая, р. Немонинка, р. Ржевка, р. Улитка, р. Приморская, р. Преголя, р. Инструч, р. Анграпа, р. Голубая, рук. Дейма, р. Красная, р. Лава, р. Писса, р. Путиловка, р. Прохладная, р. Корневка, р. Майская

Озера. оз. Виштынецкое, оз. Воронье, оз. Дивное, оз. Красное, оз. Мариново, Питьевые озера (Великий пруд, Гагара, Нескучный пруд, Школьный пруд), Пугачевский пруд, оз. Пустое, оз. Тихое

Каналы. кан. Головкинский, кан. Полесский, кан. Приморский, кан. Мазурский.

Форма отчетности

Контурная карта с нанесенными водными объектами Калининградской области. Устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Чем характеризуется водный режим рек Калининградской области?
2. Назовите самый крупный водоем Калининградской области?
3. К какому бассейну принадлежат водные объекты Калининградской области?

Лабораторная работа № 2. Построение гидрографа равнинной реки.

Цель работы – получения навыка построения гидрографа равнинной реки и определения типа питания рек, анализа водности года по виду гидрографа.

Приборы и материалы

Гидрологические ежегодники, лист миллиметровой бумаги формата А3, линейка, ластик, карандаш, шариковая ручка с черными и синими чернилами, линейка.

Общие сведения

Взаимодействие поверхностных и подземных вод играет очень важную роль в гидрологических процессах на земном шаре. Сущность этого взаимодействия заключается в обмене поверхностных (океаны, моря, озера, водохранилища, реки, каналы) и подземных вод (напорных и безнапорных) водой, теплотой, растворенными в воде веществами.

Виды питания рек. Речной сток формируется в результате поступления в реки вод атмосферного происхождения, при этом часть атмосферных осадков стекает с реками в океан или бессточные озера, другая часть - испаряется. Однако при единстве атмосферного происхождения, в конечном счете, всех речных вод непосредственные пути поступления вод в реки могут быть различными. Выделяют четыре вида питания рек: дождевое, снеговое, ледниковое и подземное. Атмосферное происхождение вод, участвующих в дождевом, снеговом и ледниковом питании рек, очевидно и не требует пояснения. Подземное же питание рек, как следует из анализа водного баланса суши и изучения режима подземных вод, также формируется, в конечном счете, в основном из вод атмосферного происхождения, но прошедших более сложный путь. Лишь в редких случаях можно говорить об участии в подземном питании рек вод не атмосферного, а «ювенильного» происхождения.

Для рек в условиях теплого климата главный вид питания – дождевое. Сток таких крупнейших рек мира, как Амазонка, Ганг и Брахмапутра, Меконг, формируется в основном за счет дождевых вод. Этот вид питания рек в глобальном масштабе является главнейшим. Вторым по важности служит снеговое питание. Его роль весьма велика в питании рек в условиях умеренного климата. Третье место по объему поступающих в реки вод занимает подземное питание. По водно-балансовым оценкам для всего земного шара на долю подземного питания рек приходится около 30% речного стока. При величине речного стока, поступающего в океан, 41,7 тыс. км³ в год на долю подземного питания приходится, таким образом, 12,5 тыс. км³ воды в год. Именно подземное питание обуславливает постоянство или большую продолжительность стока реки в течение года, что и создает в конечном итоге реку. Важно также отметить, что роль подземного питания в режиме рек особенно возрастает в межень, когда питание других видов (снеговое, дождевое) существенно сокращается или вовсе прекращается. Последнее место по значимости приходится на ледниковое питание (около 1 % стока рек мира).

Типы связи грунтовых вод с рекой. Выделяют три типа взаимодействия речных и грунтовых вод: наличие постоянной гидравлической связи, наличие временной гидравлической связи и отсутствие гидравлической связи. Первый

тип включает два подтипа: наличие одно- и двусторонней постоянной гидравлической связи. Характер связи речных и грунтовых вод зависит от соотношения высоты стояния уровня в реке в половодье и межень, с одной стороны, и положения кровли водоупорного пласта (водоупора) и уровня находящихся над ним грунтовых вод – с другой.

При очень низком положении водоупора и уровня грунтовых вод река в течение всего года через берега и дно питает подрусловые и прибрежные грунтовые воды (Рисунок 2, а – постоянная односторонняя гидравлическая связь – река в течение всего года питает грунтовые воды), т. е. постоянно теряет воду на питание грунтовых вод. Это явление особенно характерно для закарстованных пород или крупнопористых грунтов в аридных и горных районах. Гидрогеологи называют этот вид взаимодействия речных и грунтовых вод «подпертой фильтрацией». Кроме того, иногда выделяют случай, когда основной водоупор находится очень глубоко, а русло реки подстилают слабоводопроницаемые породы. В этом случае фильтрация речных вод происходит практически вертикально вниз, обходя область слабоводопроницаемых пород.

При более высоком положении водоупора (Рисунок 2, б – постоянная двусторонняя гидравлическая связь) река питает грунтовые воды лишь в половодье; в межень река, наоборот, дренирует грунтовые воды и ими питается, на спаде половодья и в межень часть накопленной в грунте воды возвращается в русло реки. Такое явление называется береговым регулированием речного стока или периодическим питанием подземных вод. Б.И. Куделин условно называет «береговым регулированием поверхностного стока» явление инфильтрации речных вод в берега в восходящей стадии половодья и возврат их в реку при спаде половодья. Общая продолжительность берегового регулирования поверхностного стока занимает время, равное приблизительно общему периоду весеннего половодья. Подземное питание рек за счет основных запасов подземных вод бассейна в период высоких уровней сокращается, а для случая полной гидравлической связи грунтовых вод с рекой подземное питание в период половодья можно принять равным нулю.

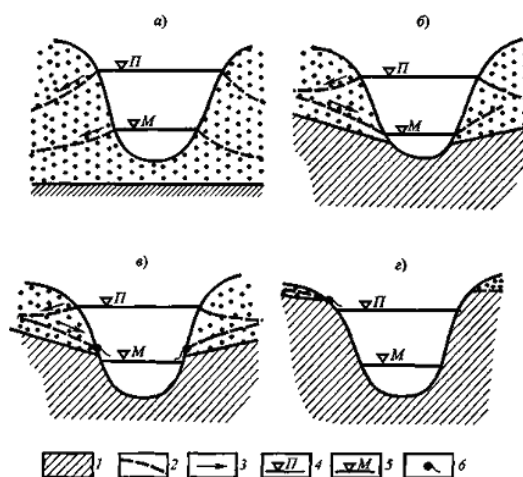


Рисунок 2 – Схема взаимодействия речных и грунтовых вод: а, б, в, г – пояснения см. в тексте; 1 – водоупорный пласт; 2 – уровень грунтовых вод; 3 – направление движения грунтовых вод; уровень воды в реке: 4 – в половодье 5 – в межень; 6 – родники

Гидрогеологическая сущность берегового регулирования состоит в том, что поверхностный сток, сформировавшийся за счет речных снеговых вод и атмосферных осадков, уже поступивших склоновым стоком до поверхностного водотока, благодаря взаимодействию с берегами и грунтовыми водами прибрежной зоны временно теряется для поверхностного стока, превращаясь в грунтовые воды (отрицательный подземный сток). Эти воды сохраняются в берегах в период восходящей стадии половодья, вследствие подпора от высоких вод в реке, и после пика половодья опять поступают в реку, снова превращаясь в поверхностный сток, увеличивая сток реки на спаде половодья. Таким образом, в процессе «берегового регулирования» происходит лишь перераспределение поверхностного стока внутри самого весеннего половодья.

При еще более высоком положении водопора река, так же как и в предыдущем случае, в половодье питает грунтовые воды, а в межень грунтовые воды питают реку. Однако в межень происходит разрыв кривой депрессии грунтовых вод и понизившегося уровня в реке (см. Рисунок 2, в – временная гидравлическая связь) – на склонах русла возникают *мочажины* и начинают действовать *родники* или *ключи*, дебиты которых не зависят от изменения уровня воды в реке.

Наконец, при очень высоком положении водопора как в половодье, так и в межень грунтовые воды и река не имеют между собой гидравлической связи (Рисунок 2, г – отсутствие гидравлической связи).

Таким образом, характер и величина подземного питания рек зависят от гидрогеологического строения прилегающей к водному объекту территории и от режима уровней воды в водном объекте. В большинстве случаев колебания уровня воды следуют за колебаниями стока и ими определяются. Объясняется это существованием закономерных связей расходов и уровней воды в реках.

Понятие о гидрографе. Изменения режима реки характеризуются, прежде всего, колебаниями ее водности. Понятие «водность реки» используется для оценки изменений стока данной реки. Водность – это количество воды, переносимое рекой за какой-либо интервал времени (месяц, сезон, год, ряд лет) в сравнении со средней многолетней величиной стока воды этой реки или со стоком в другие периоды. Когда говорят о колебаниях водности рек, то имеют в виду, прежде всего изменения стока воды. При этом график изменения расхода воды ($\text{м}^3/\text{с}$) в данном створе реки в течение года (или части года) называют гидрографом реки (Рисунок 3).

Гидрограф – хронологический график изменения расходов воды в данном створе водотока. По его горизонтальной оси откладывается время (дни, месяцы), по вертикальной – величина расходов. Точки, соответствующие величине расходов за каждый день (месяц), соединяются плавной кривой.

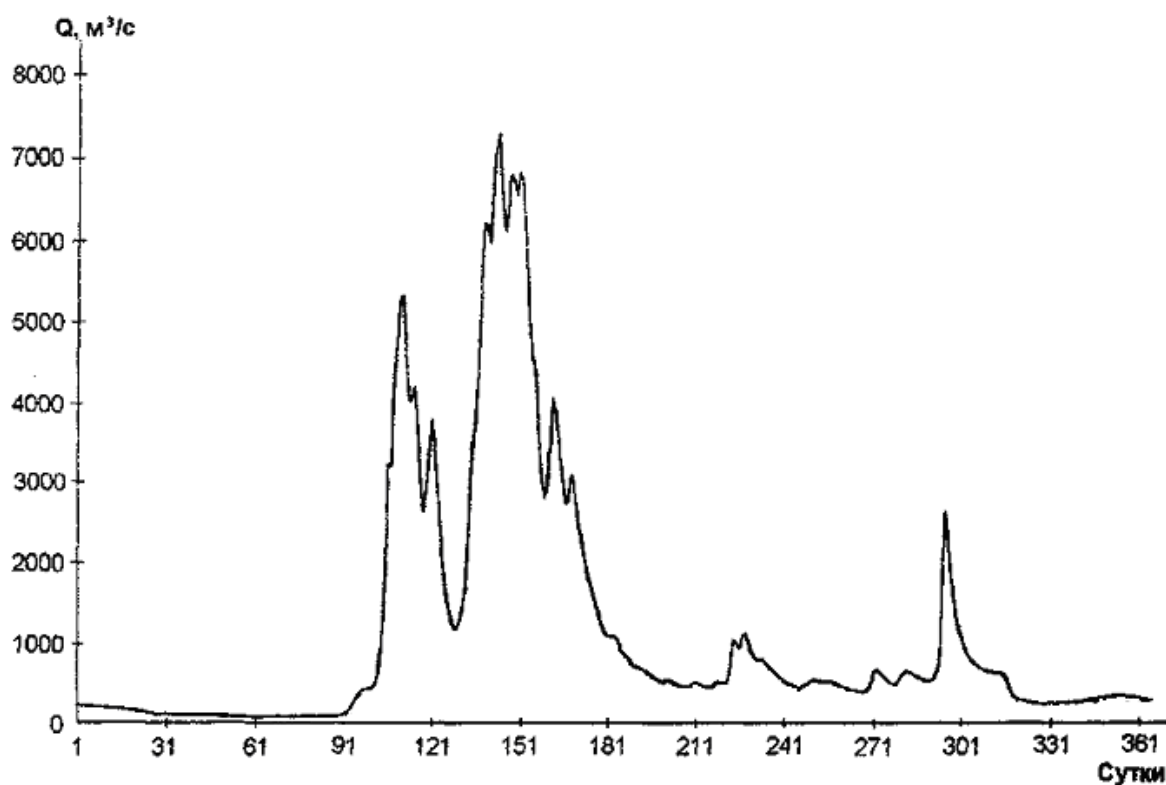


Рисунок 3 – Гидрограф р.Томи у г.Томска за 1970 год

График изменения уровня воды во времени гидрографом называть нельзя, так как в некоторых случаях колебания уровней воды в реках могут быть не связаны с изменением стока, например, при ледовых явлениях на реках, интенсивных процессах размыва дна или аккумуляции наносов, сгонно-нагонных и приливных явлениях в устьях рек.

Ход работы

1. Получить задание у преподавателя (ежедневные расходы воды из Гидрологического ежегодника) в виде таблицы.
2. Изучить содержание таблицы, ознакомиться с условными знаками, характеризующими фазы ледового режима рек.

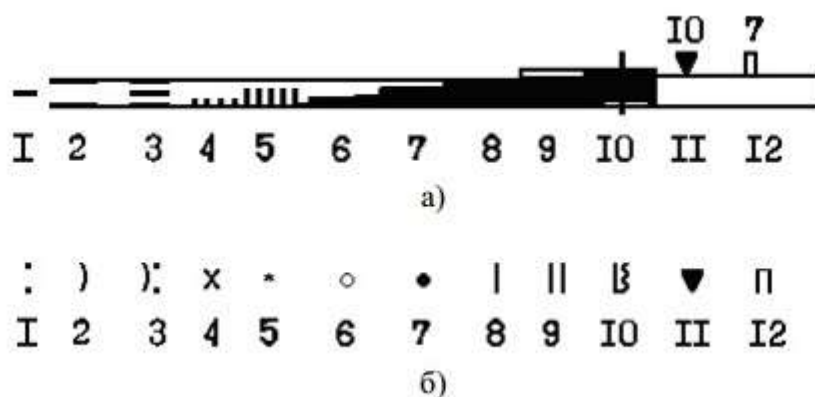


Рисунок 4 – Условные обозначения фаз ледового режима а - для графиков, б - для таблиц.
 1 – сало, 2 – забереги, 3 – сало при заберегах, 4 – редкий шугоход, 5 – шугоход, 6 – редкий ледоход, 7 – густой ледоход, 8 – ледостав, 9 – вода поверх льда, 10 – закраина или лед подняло, 11 – дата затора или зажора, 12 – дата подвижки льда

3. На миллиметровой бумаге формата А3 построить гидрограф реки. Лист миллиметровки размещают горизонтально, отмечают поля: верх, низ – 1 см, лево – 2 см, право 1,5 см. Гидрограф размещают в средней части листа.

4. Выбирают горизонтальный и вертикальный масштабы. Горизонтальный масштаб – 1 день = 1 мм. Вертикальный масштаб – в зависимости от величины максимального и минимального расхода.

5. Подписывают оси: горизонтальная ось – дни, вертикальная – ежедневные расходы воды, Q , м³/с.

6. В верхней части листа, выровнивая посередине, наносят название: «Гидрограф реки ..., створ ..., 19... г.

7. В нижней правой части листа указывают масштабы, вертикальный и горизонтальный. Ниже указывают автора работы: «работу выполнил ст. гр. ..., Фамилия И.О.

8. В нижней средней части листа под гидрографом наносят условные знаки: фазы ледового режима, согласно рис. 4.

Форма отчетности. Результаты сдаются в виде оформленного согласно требованиям гидрографа на миллиметровой бумаге. На усмотрение преподавателя допустимо устное собеседование или письменная контрольная работа, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое гидрограф?
2. Какие существуют типы питания рек?
3. Какие виды гидравлической связи поверхностных и подземных вод существуют?

Лабораторная работа № 3. Расчленение гидрографа по типам питания

Цель работы – изучить способы расчленения гидрографа по типам питания, научиться характеризовать водность года по виду гидрографа.

Приборы и материалы

Результаты лабораторной работы № 2, лист миллиметровой бумаги формата А3, карандаш, ластик, линейка, ручка.

Общие сведения

Методы расчленения гидрографа по видам питания. По данным гидрометрических измерений для каждого года можно получить гидрограф – график изменения расхода воды за год $Q = f(t)$, который отражает сложные процессы водообмена поверхностных и подземных вод. Количественная оценка доли различных видов питания в формировании стока обычно осуществляется с помощью графического расчленения гидрографа по видам питания. Этот метод применяется для графического выделения объемов воды, сформированных различными источниками питания. В этом случае доля того или иного вида питания (например, снегового, дождевого, подземного) определяется пропорционально соответствующим площадям на гидрографе (Рисунок 5). В результате расчетов можно получить количественную оценку каждого источника питания за год и,

что особенно важно, выделить подземную составляющую общего годового стока.

Наибольшие трудности возникают при выделении подземного питания в период половодья или крупных паводков. В зависимости от характера взаимодействия поверхностных и подземных вод Б.В. Поляковым, Б.И. Куделиным, К.В. Воскресенским, М.И. Львовичем, О.В. Поповым и другими исследователями предложен ряд схем расчленения гидрографа.

Наиболее общие закономерности следующие. При отсутствии гидравлической связи речных и грунтовых вод (Рисунок 2, г), что обычно характерно для горных рек, подземное питание в период половодья или паводка в общих чертах повторяет ход гидрографа, но в более сглаженном виде и с некоторым запаздыванием максимума подземного питания по сравнению с максимумом расхода воды (Рисунок 5, линия 1).

При наличии постоянной или временной гидравлической связи речных и грунтовых вод (Рисунок 2, б – в) на подъеме половодья в результате подпора рекой грунтовых вод подземное питание уменьшается и достигает минимума при наивысшем уровне воды в реке (Рисунок 5, линия 3). На практике при недостатке сведений о взаимосвязи речных и грунтовых вод часто для равнинных рек условно принимают величину подземного питания в момент пика половодья, равной нулю (Рисунок 5, линия 4).

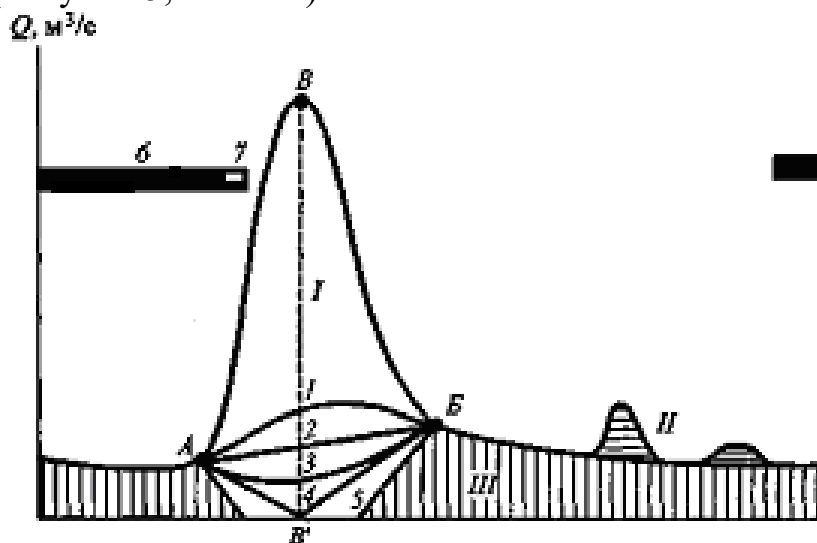


Рисунок 5 – Схема расчленения гидрографа реки по видам питания
питание: I – снеговое, II – дождевое, III – подземное;

А, Б и В – начало, конец и пик половодья; 1–5 – линии, разделяющие снеговое и подземное питание в период половодья при различном характере взаимодействия речных и грунтовых вод (пояснение см. в тексте);
6 – ледостав; 7 – ледоход

При длительном стоянии высоких уровней, что более свойственно крупным рекам, (Рисунок 5, линия 5) происходит фильтрация речных вод в грунт – «отрицательное подземное питание», а на спаде половодья или в начале межени эти воды возвращаются в реку. Водоносные горизонты, гидравлически связанные с рекой имеют иной режим и противоположную направленность фаз стока по сравнению с поверхностными водами. При повышении уровня воды в реке

происходит уменьшение гидравлических уклонов и расхода подземного стока в реку, т.е. наблюдается явления подпора. В восходящей стадии весеннего половодья в прибрежной зоне образуются обратные гидравлические уклоны гидравлического потока (Рисунок 2, б), и происходит инфильтрация речных вод в берега. При спаде половодья зеркало грунтового потока вновь приобретает наклон к реке и начинается обратный сток в реку инфильтрующейся в берега речной воды. Однако во многих случаях, особенно на малых и средних реках, границу подземного питания на гидрографе проводят просто по прямой линии, соединяющей точки начала и конца половодья (Рисунок 5, линия 2).

Возникают сложности также при разделении дождевого и снегового питания, особенно в весенний и осенний периоды, разделении снегового, ледникового и дождевого питания на горных реках и т. д. В этих случаях для более надежного расчленения гидрографа по видам питания необходимо привлекать данные о дождевых осадках и температуре воздуха, наблюдения за уровнем грунтовых вод, изучают гидрографы для верхнего и нижнего створов рек.

Наиболее известны методы расчленения гидрографа, предложенные Б.И. Куделиным, К.П. Воскресенским.

Существуют также метод В.В. Дрозда, который основан на определении подземной составляющей по гидрохимическим данным; метод П.П. Воронкова, который учитывает химический состав вод и применяется для малых водосборов при береговом регулировании и условии полной гидравлической связи подземных и русловых вод.

П.П. Воронков выделяет следующие генетические категории вод:

- поверхностно-склоновые, стекающие в русловую сеть по поверхности почвенного слоя;
- почвенно-поверхностные, стекающие по первичной русловой сети, формирующие свой состав на поверхности и частично внутри верхнего почвенного слоя;
- грунтовые, формирующие свой химический состав в процессе инфильтрации дождевых и талых вод.

Классификация рек по видам питания и водному режиму. У каждой реки доля отдельных видов питания может быть различной. Определение в каждом конкретном случае вклада различных видов питания в речной сток – задача исключительно сложная. Наиболее точно ее можно решить либо с применением «меченых атомов», т. е. путем радиоактивной «маркировки» вод различного происхождения, либо путем анализа изотопного состава природных вод. Более простой, но приближенный способ выделения различных видов питания – это графическое расчленение гидрографа.

Известный русский климатолог А.И. Воейков был первым, предложившим классификацию рек земного шара по видам питания. Классификация Воейкова одновременно была и районированием земного шара по характеру питания рек. Были выделены области, где реки получают питание преимущественно от таяния сезонного снега и ледников; области, где реки получают воду преимущественно от дождей; области, где постоянных водотоков нет.

В настоящее время более распространена классификация рек по источникам, или видам питания, М.И. Львовича. В ее основу положено два признака – источники питания и сезонное распределение стока. Для определения степени преобладания того или иного вида питания приняты три градации. Если один из видов питания дает более 80 % годового стока реки, следует говорить об исключительном значении данного вида питания, и ему придается наименование «почти исключительно» (другие виды питания не учитываются). Если на долю данного вида питания приходится от 50 до 80 % стока, то этому виду питания придается наименование «преимущественно» (другие виды питания учитываются лишь, если на их долю приходится больше 10 % годового стока). Если же ни один из видов питания не дает больше 50 % годового стока, то такое питание называют смешанным. Указанные диапазоны градаций (80 и 50 %) относятся ко всем видам питания, кроме ледникового. Для ледникового питания соответствующие диапазоны градаций уменьшены до 50 и 25 %. Такие же градации приняты для характеристики сезонов года, преобладающих по относительным размерам стока в сравнении с годовым.

Большая часть рек на территории бывшего СССР имеет преобладающее снеговое питание. Почти исключительно снеговое питание имеют реки Северного Казахстана и Заволжья. Реки дождевого питания занимают южную часть территории к востоку от Байкала, а также бассейны Яны и Индигирки, Черноморское побережье Кавказа и Крыма, Северный Кавказ. Ледниковое питание имеют реки на Кавказе и в Средней Азии.

Вопросами классификации рек по водному режиму занимались многие исследователи. Широко распространена довольно простая классификация рек по водному режиму Б.Д. Зайкова. В этой классификации все реки бывшего СССР (исключая искусственно или естественно сильно зарегулированные) разделены на три большие группы: с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года и с паводочным режимом. У рек первой и второй групп ежегодно наблюдаются повышенные расходы воды, приуроченные, соответственно, к весне или к теплой части года. В остальную часть года наблюдаются межень и отдельные паводки. У рек третьей группы отмечаются паводки, носящие систематический характер.

Реки с весенним половодьем, обусловленным таянием снежного покрова, наиболее распространены на территории бывшего СССР. Реки этой группы подразделены Б.Д. Зайковым на пять типов. У рек казахстанского типа (Рисунок 6, а) наблюдается исключительно резкая и высокая волна половодья, а в остальную часть года сток бывает очень мал, вплоть до полного пересыхания рек. Реки восточноевропейского типа (Рисунок 6, б) характеризуются высоким весенним половодьем, низкой летней и зимней меженью, несколько повышенным стоком осенью. Реки западносибирского типа (Рисунок 6, в) имеют невысокое растянутое весеннее половодье и повышенный летне-осенний сток. У рек восточносибирского типа (Рисунок 6, г) наблюдаются высокое половодье, летне-осенние па-

водки и низкая зимняя межень. Для рек алтайского типа (Рисунок 6, д) характерны невысокое растянутое весеннее половодье, повышенный летний сток и низкая зимняя межень.

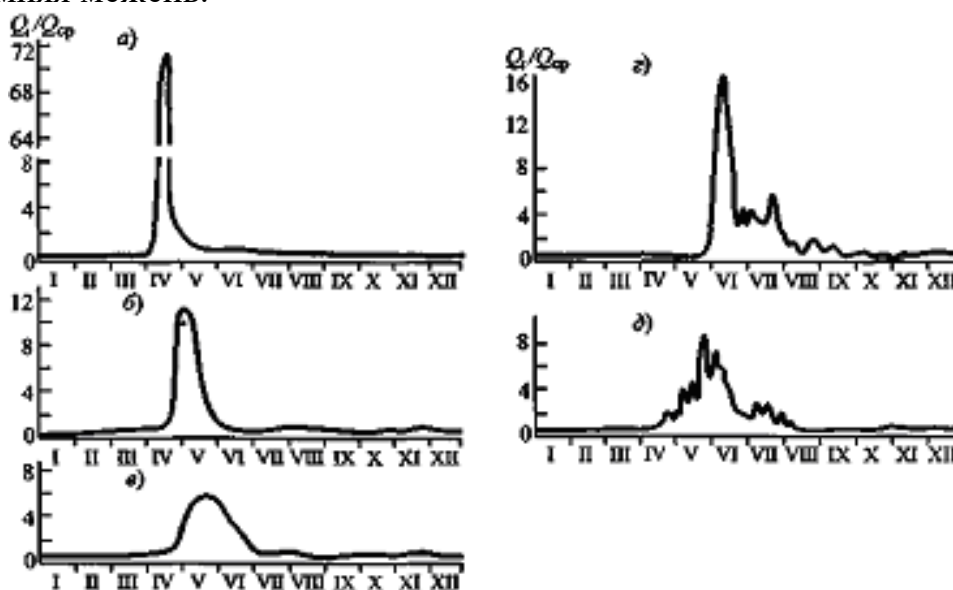


Рисунок 6 – Гидрографы рек с весенним половодьем
 типы а – казахстанский, б – восточноевропейский, в – западносибирский, г – восточносибирский, д – алтайский. Изменения расходов воды в течение года даны относительно его среднего годового значения

Реки с половодьем в теплую часть года встречаются на Дальнем Востоке и в высокогорных областях Средней Азии и Кавказа. Реки этой группы подразделяются на два типа. Для рек дальневосточного типа (Рисунок 7, а) характерны невысокое, растянутое, имеющее гребенчатый вид летнее дождевое половодье и низкий сток в холодную часть года.

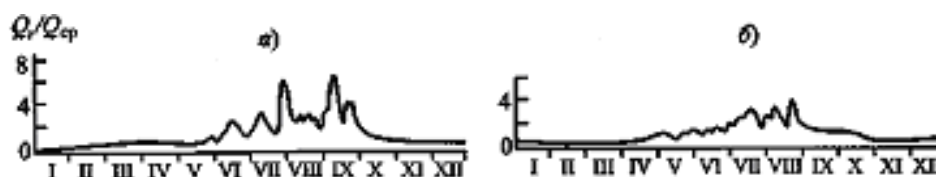


Рисунок 7 – Гидрографы рек с половодьем в теплую часть года
 типы а – дальневосточный, б – тянь-шанский (I-XII-месяцы)

Реки тянь-шанского типа (Рисунок 7, б) также имеют летнее половодье (только в этом случае оно обусловлено таянием ледников и высокогорных снегов); зимний сток выше, чем у рек предыдущего типа.

Реки с паводочным режимом протекают в горных и предгорных районах Крыма, Кавказа, Карпат. Питание у рек этой группы в основном дождевое. Среди этих рек выделяют три типа. Реки причерноморского типа (Рисунок 8, а) имеют дождевые паводки в течение всего года. У рек крымского типа (Рисунок 8, б) отмечаются зимние паводки и длительные летний (июнь – август) или летне-

осенний (май – октябрь) периоды с очень низким стоком (вплоть до полного пересыхания). Для рек северокавказского типа (Рисунок 8, в) характерны паводки в теплую и низкая межень в холодную части года.

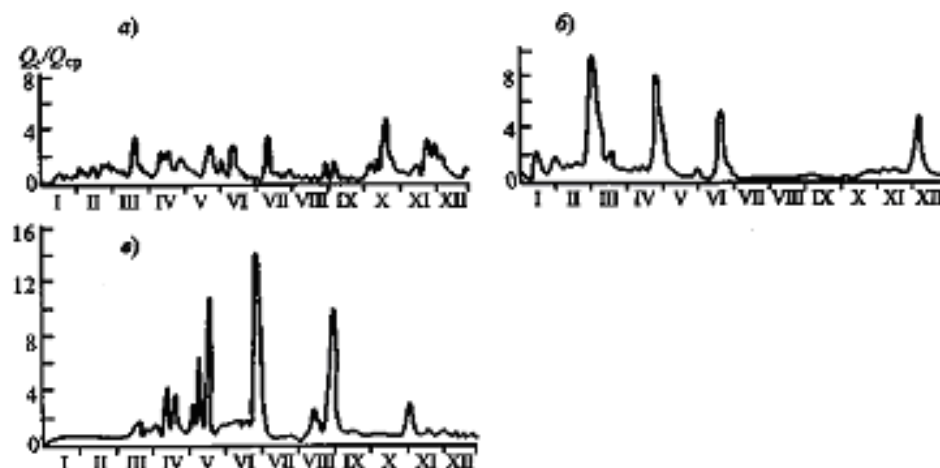


Рисунок 8 – Гидрографы рек с паводочным режимом
типы а – причерноморский, б – крымский, в – северокавказский (I-XII - месяцы)

П.С. Кузин предложил свою классификацию рек с учетом характера их питания и водного режима. Все реки им подразделены на три типа: с половодьем (снеговое питание), с половодьем и паводками (снеговое и дождевое питание), с паводками (дождевое питание). Заметим, что, по П.С. Кузину, половодье может быть лишь снегового происхождения. Летние половодья рек муссонного климата, вызванные ливневыми дождями отнесены к категории паводков. Внутри упомянутых трех типов выделены еще 14 подтипов. Дополнительно выделен четвертый (азональный) тип – реки с преобладанием подземного питания, характеризующиеся равномерным режимом стока в течение года.

Основные количественные характеристики речного стока.

Главнейшая характеристика стока воды реки – это *расход воды*, т.е. объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени (Q , м³/с). Измерениями определяют лишь средний расход воды в данном гидрометрическом створе за время измерения (на больших реках это может быть интервал времени, измеряемый часами). Процесс измерения расходов воды на реках довольно трудоемок, и поэтому число измерений в течение года обычно ограничено. Для расчета средних суточных величин расхода воды в практической гидрологии обычно используют графики связи уровней, измерение которых трудностей не представляет, и эпизодически измеренных расходов воды. По таким графикам (их называют «кривыми расходов» или графиками $Q = f(H)$) расходы воды могут быть определены по данным об уровнях для любого дня вне зависимости от того, измерялся в этот день сам расход воды или нет. По полученным таким образом средним суточным расходам воды можно построить гидрограф.

К числу характерных расходов воды относят расходы различных фаз водного и ледового режима реки, например, максимальные (пиковые) расходы воды

половодья и паводков, минимальные расходы воды межени, расходы воды в начале весеннего ледохода и т.д.

Расходы воды реки подвержены непрерывным изменениям. В гидрологии рек существуют два основных подхода при анализе их изменений. При первом – генетическом – анализируют причины изменения стока, выявляют связь колебаний стока с определяющими, в основном климатическими факторами. При втором – вероятностном – оценивают вероятность наступления на данной реке тех или иных расходов воды: чем больше отличается расход воды реки в данный момент в большую или меньшую сторону от некоторой средней величины («нормы»), тем меньше вероятность такого явления. В гидрологии разработана целая система специальных методов статистической и вероятностной оценки колебаний речного стока при наличии, недостатке и отсутствии данных наблюдений. Такие расчеты оказываются необходимыми при проектировании и строительстве различных гидротехнических сооружений на реках.

В гидрологии широко используют понятие среднего расхода воды за какой-либо интервал времени Δt (декаду, месяц, сезон, год, ряд лет). Такие расходы воды рассчитывают по формулам вида

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad \text{Формула 1}$$

где Q_i – средние суточные расходы воды; n – число суток в рассматриваемом интервале времени. Так, например, средний годовой расход воды в обычный (невисокосный) год определяют путем суммирования всех средних суточных расходов воды за год и деления суммы на 365.

Объем стока воды – это объем воды, прошедшей через данное поперечное сечение речного потока за какой-либо интервал времени. Расход воды поэтому можно считать объемом стока воды за 1 с. Также можно сказать, что объем стока это количество воды (в м^3), стекающее с площади бассейна за год (или часть года). Объем стока воды рассчитывают по формуле:

$$W = \bar{Q} \Delta t, \quad \text{Формула 2}$$

где W – объем стока, м^3 ; $\bar{Q}$ – средний расход воды за интервал времени Δt (Q в $\text{м}^3/\text{с}$, Δt в с). Для больших рек W часто удобнее выразить в км^3 (особенно если речь идет о годовых величинах).

Слой стока образуется, если весь объем стока распределить равномерным слоем по всей площади бассейна, следовательно, слой стока – это количество воды, стекающее с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора и выраженного в миллиметрах:

$$y = \frac{W(\text{м}^3) \cdot 10^3}{F} = \frac{W(\text{км}^3) \cdot 10^6}{F}, \quad \text{Формула 3}$$

здесь y в мм, F в км^2 .

Слой стока применяют в гидрологических расчетах в уравнении водного баланса для какого-либо речного бассейна, в которое входят параметры, отража-

ющие величины выпавших осадков, испарения и стока, выраженные в миллиметрах слоя, как выпавшее, испарившееся и стекшее количество воды для данной площади.

Модуль стока воды – это количество воды (в литрах), стекающее в секунду с квадратного километра площади бассейна (водосбора). Модуль стока воды обозначают через M , л/(с·км²), и рассчитывают по формуле:

$$M = \frac{Q \cdot 10^3}{F}, \quad \text{Формула 4}$$

где Q – любой расход воды (как мгновенный, например, максимальный, так и средний за интервал времени Δt)

Коэффициент стока – отношение величины (объема или слоя) стока к количеству выпавших на площадь водосбора атмосферных осадков, обусловивших возникновение этого стока:

$$\eta = \frac{y}{x} = \frac{Y}{X}, \quad \text{Формула 5}$$

Здесь y и x в мм, Y и X в м³ или км³. Коэффициент стока обычно рассчитывают для средних многолетних величин слоя стока и слоя осадков, либо для гидрологического года. Иногда рассчитывают коэффициент стока и за половодье; в этом случае слой стока за половодье делят на слой воды, складывающийся из атмосферных осадков на период половодья и запасов воды в снежном покрове, накопившемся за предшествующую зиму. Напомним, что коэффициент стока – величина безразмерная, изменяющаяся от 0 до 1.

Модульный коэффициент K может быть получен из отношений:

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{M_i}{M_0} = \frac{W_i}{W_0} = \frac{y_i}{y_0}, \quad \text{Формула 6}$$

где, соответственно, Q_i , M_i , W_i , y_i – сток за какой-либо период, Q_0 , M_0 , W_0 , y_0 – сток за многолетний период, или норма стока. В маловодные годы $K < 1$, в многоводные $K > 1$.

Характеристики стока могут быть рассчитаны отдельно для подземной и поверхностной составляющих, например, модуль поверхностного стока и модуль подземного стока.

Ход работы

1. Разделить гидрограф по типам питания, исходя из рекомендаций, описанных выше.

2. Перенести построенный и расчлененный по типам питания гидрограф на вспомогательный лист миллиметровой бумаги.

3. Определить вклад каждого типа питания в % от годового стока методом палетки, используя гидрограф на вспомогательном листе миллиметровой бумаги.

Метод палетки.

Если гидрограф реки вычерчен на миллиметровой бумаге, *палеткой* служит *основа чертежа*. Исходя из этого, измерение доли осуществляется в следующем порядке.

1. На миллиметровой бумаге формата А3 дополнительно вычерчивают рабочий контур гидрографа реки, на который наносят границы каждого типа питания.

2. На контуре в границах каждого типа питания выделяют (очерчивают) квадраты $0,5\text{ см} \times 0,5\text{ см}$ или $1\text{ см} \times 1\text{ см}$, в зависимости от величины гидрографа. Чтобы при счете квадратов не сбиться, их отмечают порядковыми номерами по мере продвижения счета.

3. После окончания нумерации *целых* квадратиков продолжают проставлять *последующие* порядковые номера в квадратиках, поместившихся не полностью по краям каждого контура, соответствующего выделенному типу питания. Находят на чертеже непронумерованные части квадратиков, примерно дополняющие по площади уже отмеченные, и заштриховывают (вычеркивают) их. Вычеркнутые дополнения нумеруют тем же порядковым номером, что и основная часть квадратика, вынося этот номер за контуры измеряемой площади.

4. Сумма всех квадратиков в пределах контура гидрографа принимается за 100%. Соответственно, количество квадратиков в пределах контуров каждого типа питания рассчитывается в % от общего числа квадратиков.

4. В нижней средней части листа под гидрографом наносят условные знаки: виды питания (напротив каждого вида питания, кроме названия и графического изображения, указывается его доля в % согласно произведенным расчетам).

5. К гидрографу прикладывается вспомогательный лист с определением доли каждого вида питания в % по методу палетки.

Форма отчетности. Результаты сдаются в виде оформленного согласно требованиям гидрографа на миллиметровой бумаге. К основному графику прилагается график, иллюстрирующий расчет доли питания % (по методу палетки). Устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Какие существуют способы расчленения гидрографа по типам питания?
2. Как расчленить гидрограф по типам питания и определить объем каждого вида питания в % для равнинных рек?
3. Какие типы водного режима рек выделяют по М.И. Львовичу, по Б.Д. Зайкову, по А.И. Воейкову, по П.С. Кузину?
4. Назовите основные количественные характеристики речного стока.

Лабораторная работа № 4. Расход повторяемости и обеспеченности расходов воды в реке

Цель работы – приобрести навык оценки водности реки на основе анализа обеспеченности и повторяемости расходов воды.

Приборы и материалы

Ежедневные данные расходов воды в реках Калининградской области (из гидрологических ежегодников), лист миллиметровой бумаги формата А4, карандаш, ластик, линейка, ручка.

Общие сведения

Водность любой реки может быть оценена величиной годового стока – объемом воды, прошедшим через живое сечение за определенный отрезок времени, то есть за один год. Колебания годового стока, как и других гидрологических величин, обусловлены достаточно большим количеством меняющихся факторов (климатических, метеорологических, антропогенных и др.) и подвержены существенным изменениям от года к году. Поэтому их часто изучают при помощи методов математической статистики и теории вероятностей. Многолетние изменения годового стока можно изучить по так называемым кривым повторяемости и обеспеченности среднегодовых расходов реки. Под повторяемостью понимается отношение числа лет (дней) с определенным расходом воды к общему числу наблюдений, под обеспеченностью – вероятность превышения числа лет (дней) с определенным расходом над числом лет (дней) с меньшим расходом. Для таких расчетов необходимы данные по расходам воды за значительный период (не менее 50 лет), которые должны быть разбиты на ряд интервалов. Расчет ведется табличным методом.

Предположим, мы имеем данные расходов за 77 лет, минимальный расход составляет $650 \text{ м}^3/\text{с}$ максимальный – $2550 \text{ м}^3/\text{с}$. Разобьем расходы с интервалом в $200 \text{ м}^3/\text{с}$ и внесем имеющиеся данные в таблицу (Таблица 2).

Таблица 2 – Расчет повторяемости и обеспеченности гидрологической величины

Интервалы расходов, $\text{м}^3/\text{с}$	Повторяемость (частота)		Обеспеченность	
	Число случаев (лет)	%	Число случаев (лет)	%
2599 – 2400	1	1,3	1	1,3
2399 – 2200	3	3,9	4	5,2
2199 – 2000	5	6,5	9	11,7
1999 – 1800	8	10,4	17	22,1
1799 – 1600	15	19,4	32	41,5
1599 – 1400	17	22,1	49	63,6
1399 – 1200	12	15,7	61	79,3
1199 – 1000	9	11,7	70	91,0
999 – 800	6	7,7	76	98,7
799 – 600	1	1,3	77	100
Сумма	77	100,0	—	—

Следовательно, величина повторяемости показывает, насколько часто в ряду наблюдений встречается тот или иной интервал расходов воды: минималь-

ный расход $650 \text{ м}^3/\text{с}$ отмечен лишь в один год из 77 лет наблюдения – это составляет 1,3 %. Точно также и максимальный расход встретился только один раз – его повторяемость тоже 1,3 %.

Величина обеспеченности демонстрирует, насколько часто встречается изучаемая характеристика – среднегодовой расход – не ниже меньшей границы интересующего нас интервала, то есть, сколько лет обеспечивается значение расхода воды не ниже заданного. Например, расход воды в интервале от 1199 до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ и более в ряду наблюдений отмечался 70 раз, это значение было обеспечено в 91 % случаев.

Чем ниже расход воды, тем больше вероятность его превышения, то есть обеспеченность, и, наоборот, чем больше среднегодовой расход, тем меньше его реальная обеспеченность.

Это имеет наглядную форму – при максимальном расходе воды в реке оказываются затопленными все отметки уровня, минимальные расходы имеют практически 100%-ную обеспеченность и встречаются каждый год.

Расходы, средние для данной реки, имеют максимальную повторяемость (частоту) и среднюю (близкую к 50 %) обеспеченность, минимальные расходы имеют наименьшую повторяемость и максимальную обеспеченность, максимальные расходы воды имеют минимальную повторяемость и обеспеченность.

По эмпирическим данным могут быть построены кривые повторяемости и обеспеченности, где по оси ординат откладывают интервалы расходов, а по оси абсцисс – значения повторяемости и обеспеченности в % (Рисунок 9).

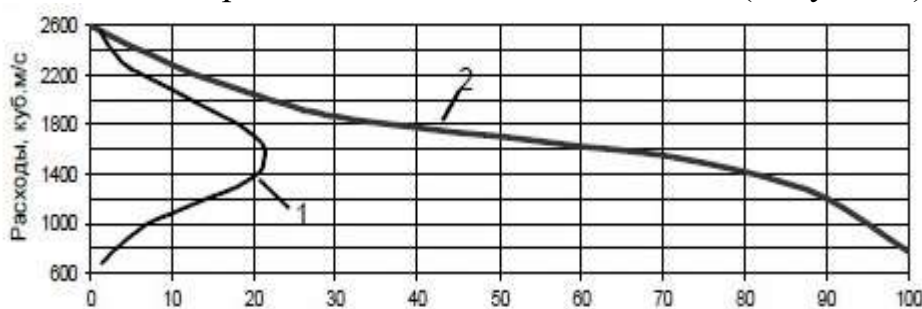


Рисунок 9 – Кривые повторяемости (1) и обеспеченности (2) среднегодовых расходов воды

Построенные кривые продолжительности (обеспеченности) и повторяемости (частоты) используются при решении многих практических задач, например при определении продолжительности затопления, для расчета отметок водозабора и т. д.

Знание вероятностей повторяемости и обеспеченности имеет важное практическое значение. При строительстве различных гидротехнических сооружений всегда возникает необходимость учета максимальных расходов воды – от этого зависит безопасность эксплуатации. При проектировании систем питьевого водоснабжения, наоборот, необходимо ориентироваться на минимальные расходы воды, но имеющие 100%-ную обеспеченность.

В практической деятельности чаще приходится иметь дело с непродолжительными рядами наблюдений, по которым трудно построить надежную кривую

Ход работы

- Таблица 3 – Ведомость повторяемости и обеспеченности расходов воды в р. _____

[illegible]

Таблица 4 – Пример заполнения ведомости повторяемости и обеспеченности расходов воды в водотоке

Интер- валы расхо- дов	Число дней расходов в интервале по месяцам												Повторяе- мость		Обеспечен- ность	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	дней	%	дней	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
554-520													6	1,64	6	1,64
519-480													4	1,10	10	2,74
479-440													15	4,11	25	6,85
439-400													36	9,72	61	16,67
399-360													22	6,00	83	22,67
359-320													16	4,38	99	27,03
319-280													8	2,19	107	29,22
279-240													10	2,75	117	31,97
239-200													11	3,00	128	34,98
199-160													17	4,65	145	39,63

159-120													36	12,15	190	51,68
119-80													93	26,80	283	76,85
79-66													82	23,15	365	100
итого	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100	-	-

5. Производится выборка количества дней повторения расхода в каждом интервале за каждый месяц (из исходных данных) и результат вносится соответственно интервалу и месяцу в табл. 4. В графу «Итого» записывают сумму дней по вертикали. Она должна равняться числу дней в месяце. Для удобства, данные в колонки № 2-13 заносятся методом точкования.

6. Повторяемость (частота) расходов за год для каждого интервала получаем сложением числа дней появления расходов и записываем в графу 14. Например, в интервале 359-320 повторяемость равна 16 дням.

7. Обеспеченность (продолжительность) расходов в днях вычисляется путем последовательного суммирования повторяемостей (графа 14) в отдельных интервалах начиная с наивысшего (записываем в графу 16). Складываем дни из графы 14: максимальные расходы в интервале 554-520 обеспечены 6 дней, в интервале 519-480 – $6+4=10$ дней; в интервале 479-440 – $10+15=25$ дней и т.д. до минимальных, которые обеспечены 365 дней или 100 %).

8. Строим график повторяемости и обеспеченности расходов. Построение кривой повторяемости в % производится по данным граф 1 и 15 таблицы, а обеспеченности – граф 1 и 17. Точки по оси координат откладывают в середине интервала для кривой повторяемости и нижнем конце интервала для кривой продолжительности (обеспеченности). Плавное соединение точек, получают кривые повторяемости и обеспеченности расходов (Рисунок 9). Масштаб: горизонтальный – 1 см – 5 %, вертикальный – 1 см – диапазон интервала.

9. Чертеж выполняют на миллиметровой бумаге формата А4, ориентация листа – горизонтальная. Рамка лево – 2 см, право, верх, низ – 1 см. График располагают в центральной части листа. Чертеж подписывают в верхней части листа: «Кривые повторяемости и обеспеченности ежедневных расходов воды р. ... в 19...г., створ ...». Масштаб и условные обозначения отображают под чертежом справа. Чуть ниже справа указывают, кто выполнил работу (фамилия, имя, группа).

Форма отчетности

Результаты сдаются в табличном (ведомость оформляется в тетради для лабораторных работ по образцу табл. 2) и графическом виде (чертеж на миллиметровой бумаге). Устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое повторяемость и обеспеченность гидрологической величины?
2. Какие данные необходимы для расчета повторяемости и обеспеченности гидрологической величины?
3. Как рассчитать повторяемость и обеспеченность гидрологической величины?
4. Для чего нужны сведения повторяемости и обеспеченности гидрологических величин?

Лабораторная работа № 5. Определение характерных расходов воды в реках при отсутствии данных гидрологических наблюдений

Цель работы – получить навык определения характерных расходов воды в реках при отсутствии данных гидрологических наблюдений.

Приборы и материалы

Топографическая карта Калининградской области масштаба 1:100000 и крупнее, гидрологические ежегодники, многолетние сведения по гидрологическому режиму рек, входящих в систему мониторинга Калининградского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Ресурсы поверхностных вод СССР, материалы водного кадастра СССР – см. список литературы), ручка, карандаш, ластик.

Общие сведения

Для выполнения ряда рыбохозяйственных инженерных задач, например, строительство рыбоводных прудов, гидротехнических сооружений, мостовых переходов и пр. часто приходится сталкиваться с необходимостью определения расчетных гидрологических характеристик для участков водотоков, не охваченных регулярной сетью гидрометрических наблюдений, то есть для которых отсутствуют данные гидрологических наблюдений.

При отсутствии гидрометрических наблюдений в расчетном створе параметры распределения и расчетные значения определяют с помощью следующих основных методов:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами.

Гидрологическая аналогия (метод гидрологической аналогии) – метод приближенной оценки гидрологических характеристик неизученного или слабоизученного водного объекта с помощью данных наблюдений на ином водном объекте со схожими природными условиями. Вследствие того, что в России насчитывается более 2 млн. рек, а регулярные наблюдения проводятся чуть более чем на 3000 гидрологических постах, значительная часть рек не обеспечена данными наблюдений, что привело к широкому распространению данного подхода в гидрологических расчетах.

Базовым понятием метода является термин «река-аналог». Под рекой-аналогом понимают реку, обеспеченную данными гидрологических наблюдений и находящуюся в схожих условиях формирования стока с рекой, для которой выполняется расчет.

При выборе реки-аналога производится оценка и сравнение:

- пространственной структуры колебаний рассматриваемой гидрологической характеристики, отражающей характер пространственной связанности рассматриваемой гидрологической характеристики,
- однотипности стока рек аналогов и исследуемой реки;
- географической близости расположения водосборов;
- однородности условий формирования стока, сходства климатических условий, однотипности почв (грунтов) и гидрогеологических условий, степени озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
- средних высот водосборов, экспозиции склонов и гипсометрии;
- факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование речного стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды).

Максимальные расходы воды весеннего половодья рек могут быть рассчитаны согласно рекомендациям, изложенным в СП 33-101-2003 на основе метода аналогии.

Расчетный максимальный расход воды весеннего половодья $Q_{P\%}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) заданной ежегодной вероятностью превышения $P\%$ определяется по редуционной формуле:

$$Q_{P\%} = \frac{K_0 \cdot h_{P\%} \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot A}{(A + A_1)^n}, \quad \text{Формула 7}$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; определялся по данным рек-аналогов обратным путем;

$$K_0 = \frac{(Q_{P\%} \cdot (A + A_1)^n)}{h_{P\%} \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot A}, \quad \text{Формула 8}$$

Данные для расчета параметра K_0 по рекам-аналогам представлены в 5.

Таблица 5 – Расчет коэффициента дружности (K_0) для рек-аналогов при вероятности превышения максимального расхода 1% [Ресурсы поверхностных вод..., 1969]

№	река-пост	A	$Q_{1\%}$	$h_{1\%}$	δ	δ_1	δ_2	δ_3	n	A_1	$K_{1\%}$
1	р.Прохладная-д.Светлое	941	104	197	1,00	0,64	1,00	1,00	0,17	1	0,003
2	р.Нельма-п.Кострово	163	19,4	170	1,00	0,49	0,92	1,00	0,17	1	0,004

Значение параметра K_0 определяется в зависимости от природной зоны (района) и категории рельефа и согласно рекомендациям методики для района Калининградской области с низменным рельефом.

$h_{P\%}$ – расчетный слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания) ежегодной вероятностью превышения $P\%$ (мм); определялся в зависимости от коэффициента вариации C_v (0,45, с учетом поправки =1,25; 0,56) и отношения C_s/C_v (принято $C_s=2C_v$) этой величины, а также среднего многолетнего слоя стока h_0 (80 мм), установленного по картам и приложениям, представленным в [18, 25];

μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, принят в соответствии с рекомендациями в [18, 25];

δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озе;

δ_1 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных бассейнах;

$$\delta_1 = \frac{\alpha}{(A_{\text{л}} + 1)^{n'}}, \quad \text{Формула 9}$$

где α – эмпирический параметр, учитывающий расположение леса на водосборе, принят равным; $A_{\text{л}}$ – лесистость водосбора, %; n' – коэффициент редукции, принят равным.

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 6.

Таблица 6 – Расчет коэффициента δ_1 для исследуемых рек (исходные данные)

Река	Площадь водосбора до расчетного створа, км ²	Лесистость водосбора, %	α	δ_1
Приморская	112,5	10		
Алейка	41,8	10		
Медвежья	42,0	6		
Светлогорка	25,4	60		
Чистая	13,5	10		
Зеленоградка	72,0	19		

δ_2 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в заболоченных бассейнах;

δ_3 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды вследствие распашки водосбора под сельскохозяйственный угодья, принят равным;

A – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км²;

A_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км², равен;

n – показатель степени редукции.

Переход отсреднесрочных расходов к среднесуточным выполнен с учетом рекомендаций, представленных в [18, 25]

По образцу табл. 7 оформляют данные расчетов среднесуточных максимальных годовых расходов весеннего половодья заданной обеспеченности для исследуемых водосборов.

Таблица 7 – Максимальные среднесуточные расходы воды весеннего половодья, м³/с

№п/п	Река	Площадь водосбора до расчетного створа, км²	Q _{1%}	Q _{5%}	...
1	Приморская	112,5			
2	Алейка	41,8			
3	Медвежья	42,0			
4	Светлогорка	25,4			
5	Чистая	13,5			
6	Зеленоградка	72,0			

Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков

Согласно рекомендациям, представленным в СП 33-101-2003, максимальные расходы воды дождевых паводков по водотокам с площадями водосборов меньше 200 км², следует определять формуле предельной интенсивности стока III типа.

$$Q_{P\%} = q'_{1\%} \cdot \varphi \cdot H_{1\%} \cdot \delta \cdot \lambda_{P1\%} \cdot A, \quad \text{Формула 10}$$

где $q'_{1\%}$ – относительный модуль максимального срочного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$, представляющий отношение:

$$q'_{1\%} = \frac{q_{1\%}}{\varphi \cdot H_{1\%}}, \quad \text{Формула 11}$$

Определяется для исследуемого района в зависимости от гидроморфометрической характеристики русла Φ_r и продолжительности склонового добега $\tau_{ск}$ (мин). Склоновое время добега $\tau_{ск}$ принято равным 60 мин – при заболоченности менее 20%. Φ_r – гидроморфометрическая характеристика русла определяется по формуле:

$$\Phi_r = \frac{1000 \cdot L}{[m_p \cdot I_p^m \cdot A^{0,25} (\varphi \cdot H_{1\%})^{0,25}]}, \quad \text{Формула 12}$$

где L – длина русла, км;

m_p и m – гидравлические параметры, характеризующие состояние и шероховатость русла, приняты на основе данных таблицы Б.8 приложения 2 [Свод правил..., 2004], 7 и 0,33 соответственно;

I_p – средневзвешенный уклон русла, ‰;

φ – сборный коэффициент стока;

$H_{1\%}$ – максимальный суточный слой осадков вероятности превышения $P=1\%$, мм, определяют по данным ближайших метеорологических станций, для района исследования – 75 мм по данным [Ресурсы поверхностных вод, 1969];

δ – поправочный коэффициент, учитывающий регулирующее влияние озер, прудов и водохранилищ, принят равным $\delta = 1$;

A – площадь водосбора исследуемой реки до расчетного створа, км²;

$\lambda_{P\%}$ – переходный коэффициент от максимальных срочных расходов воды ежегодной вероятностью превышения $P = 1\%$ к значениям другой вероятности превышения $P < 25\%$, принят на основе данных, представленных в [18, 25].

Сборный коэффициент стока определялся по формуле:

$$\varphi = \frac{c_2}{(A+1)^{n_3}} \cdot \varphi_0 \left(\frac{I_{ск}}{50} \right)^{n_2},$$

Формула 13

где c_2 – эмпирический коэффициент, который для лесной зоны принимается равным **1,2**;

φ_0 – сборный коэффициент стока для условного водосбора с площадью A , равной 10 км² и средним уклоном склонов $I_{ск} = 50$ ‰, принятый равным **0,28** согласно;

n_2 – степенной коэффициент, принятый равным **0,65**; определен в зависимости от механического состава почв и природной зоны;

n_3 – степенной коэффициент равный лесной зоны **0,07**.

Результаты расчетов по формуле предельной интенсивности оформляются по образцу в табл. 8.

Таблица 8 – Среднесуточные максимальные расходы воды дождевых паводков на исследуемых водотоках, м³/с

№ п/п	Река	Площадь водосбора до расчетного створа, км ²	Q _{1%}	Q _{5%}	...
1	Приморская	112,5			
2	Алейка	41,8			
3	Медвежья	42,0			
4	Светлогорка	25,4			
5	Чистая	13,5			
6	Зеленоградка	72,0			

Ход работы

1. Внимательно изучают исходные данные.
2. Получают исходные данные от преподавателя.
3. Рассчитывают максимальные среднесуточные расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков.
4. Оформляют полученные данные по образцу табл. 7, 8.
5. Производят сравнение полученных расчетных значений максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков на исследуемых реках.
6. Дают объяснение полученным закономерностям.

Форма отчетности

Оформленные в тетради для лабораторных работ по образцу табл. 7, 8 результаты расчетов максимальных расходов воды заданной обеспеченности с промежуточными вычислениями. Устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. для чего необходимы гидрологические расчеты при инженерных изысканиях?
2. В чем заключается метод аналогии?
3. Какие критерии учитываются при выборе рек-аналогов?

Лабораторная работа № 6. Расчет переноса (выноса) растворенных в воде веществ через створ (на примере рек Калининградской области).

Цель работы – получить навык расчета выноса веществ со стоком рек в принимающий водный объект

Приборы и материалы

Ежемесячные данные экологического мониторинга по качеству воды в замыкающих створах рек.

Общие сведения

В Соответствии с рекомендацией ХЕЛКОМ по гидрохимическим показателям, характеризующим степень эвтрофирования водных объектов (БПК₇, БПК₂₀, ХПК, фосфор фосфатов, азот аммонийный, азот нитритов, азот нитратов, а также общее содержание азота и фосфора в воде), рассчитывается нагрузка от рек на принимающий водоем (или перенос веществ через створ) как:

$$L = \sum_{i=1}^n C_i W_i, \quad \text{Формула 14}$$

где

C_i - среднеарифметическая концентрация вещества в последовательных пробах, г/м³;

W_i - объем стока за период между отбором проб, м³;

n - число измерений.

$$W_i = Q_i T_i, \quad \text{Формула 15}$$

где

Q_i - расход воды за период между отбором проб, м³/с;

T_i - величина периода между отбором проб, с;

При этом, под нагрузкой на принимающий водный объект понимается масса (в тоннах, или кг) приносимого в него биогенного и органического материала впадающими реками, ручьями каналами и иными лотическими системами за определенное время, обычно год.

Для расчета годовой нагрузки на принимающий водоем необходимы регулярные наблюдения в течение всего года.

Для анализа нагрузки от разных рек рассчитываются ее среднемесячные величины и «удельная» нагрузка, позволяющая исключить влияние площади водосбора.

Нагрузка со стороны водотоков на принимающий водоем обычно прямо пропорциональна:

- Размерам речного бассейна,
- Суммарному среднему расходу,
- Объему стока.

Следовательно, суммарная нагрузка от реки, в первую очередь, контролирует общее состояние водосборной территории. Особенно ярко эта зависимость проявляется в периоды высокого стояния уровня (половодье, частично паводки), когда в реку стекает вода с поверхности речного бассейна. Одним из критериев

степени загрязненности речной экосистемы (независимо от характера водопользования и различными в связи с этим величинами ПДК) может быть тот предел, выше которого нагрузка от реки перестает быть пропорциональной площади ее водосбора, то есть река практически теряет способность к самоочищению. Нагрузка от реки в значительной степени связана с фазами водного режима и по разным показателям может увеличиваться или уменьшаться по мере изменения соотношения подземного и поверхностного питания и сезонности в жизнедеятельности гидробионтов.

Ход работы

1. В тетради готовится таблица по образцу табл. 9.

Таблица 9 – Расчет нагрузки от реки.....на.....с по Г.

Сроки наблюдений	Число дней между сроками, T_i	Концентрация вещества в пробе, C , г/м ³	Средняя концентрация вещества в пробе C_i , г/м ³	Расход воды, Q , м ³ /с	Средний расход между сроками, Q_i , м ³ /с	Объем стока W_i , м ³	Нагрузка, г
1	2	3	4	5	6	7	8
08.01*	35	0,316*	0,32	8,48*	25,94	907,90	290,53
12.02*		0,324*		43,40*			
...							
							$\sum$ гр.8
Нагрузка (т) = $\sum$ гр.8*0,0864							

*Примечание: исходные данные (выдаются преподавателем)

2. Число дней между сроками (гр. 2) рассчитывается как количество дней между фиксированными датами в гр. 1.

3. Средняя концентрация вещества (гр. 4) рассчитывается как среднее арифметическое между двумя последовательными наблюдениями.

4. Средний расход между сроками (гр. 6) рассчитывается как среднее арифметическое между двумя последовательными наблюдениями.

5. Объем стока (гр. 7) рассчитывается как произведение гр. 2 и гр. 6. Важно обратить внимание на то, что период между сроками (гр.2) выражен в днях, а не в секундах, поэтому полученная величина в гр.7 не отражает объем стока в м³, а является в расчетах некоторой промежуточной величиной.

6. Нагрузка (гр. 8) рассчитывается как произведение объема стока (гр. 7) на среднюю концентрацию (гр. 4). Полученная нагрузка между сроками имеет размерность граммы.

7. Суммируем результаты в гр. 8. Получаем суммарную нагрузку за исследованный период в граммах.

8. Переводим полученную нагрузку в граммах в тонны. Для этого сумму графы 8 умножаем на коэффициент $K=0,0864$ (86400 секунд в сутках, 1000000 г в тонне; $86400/1000000=0,0864$).

Форма отчетности

Результаты сдаются в табличном виде (по образцу табл. 9), устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое нагрузка от водотока на принимающий бассейн?
2. Что показывает нагрузка?
3. Как рассчитать объем стока за исследованный период?

Лабораторная работа № 7. Оценка удержания биогенных веществ в системах рек на российской части водосборного бассейна Балтийского моря (на примере рек Калининградской области)

Цель работы – получить навык расчета удержания биогенных веществ в системах рек на российской части водосборного бассейна Балтийского моря.

Приборы и материалы

Данные ежегодной статистической отчетности по сбросам сточных вод промышленных и муниципальных предприятий, Географический атлас Калининградской области.

Общие сведения

Данная методика разработана на основе международного опыта, Руководства Хельсинкской комиссии по защите морской среды района Балтийского моря (ХЕЛКОМ) по компиляции нагрузки загрязнений на Балтийское море и направлена на выполнение международных обязательств России в рамках Хельсинской конвенции.

К началу XXI века Балтийское море превратилось в эвтрофную морскую среду и эвтрофикация является для него главной проблемой. ХЕЛКОМ, приняв единый и целостный подход к управлению качеством вод на всем водосборном бассейне Балтийского моря, основанный на принципах восстановления и сохранения его экосистемы и объединяющий научный и социально-экономический потенциал всех стран, окружающих Балтийское море, в ноябре 2007 года одобрил План действий по Балтийскому морю (ПДБМ). Среди приоритетных направлений природоохранной деятельности, заложенных в ПДБМ, борьба с эвтрофикацией является наиболее существенной и трудной. В этой связи в целях снижения степени эвтрофирования Балтийского моря ПДБМ устанавливает квоты для стран-участниц ХЕЛКОМ, которые будут периодически пересматриваться на основе гармонизированного подхода и обновленной информации, предоставляемой сторонами Конвенции.

Предполагается введение платы за избыточное поступление биогенных веществ в Балтийское море от каждой страны, а Россия является второй страной после Польши крупным поставщиком биогенных элементов в Балтийское море, особенно фосфора.

Вышеизложенное говорит о возрастании экономической значимости данных мониторинга водных объектов, а также методических аспектов, составляющих основу проводимых расчетов поступления биогенных веществ в Балтийское море от водосбора каждой страны.

В качестве единого методического подхода к проведению необходимых расчетов оценки долевого вклада в нагрузку всех источников загрязнений, включая фоновую (природную) нагрузку с учетом удержания биогенных элементов гидрографической ХЕЛКОМ разработал Руководство по 5-ой Компилляции нагрузки загрязнений на Балтийское море.

В соответствии с Руководством ХЕЛКОМ удержание биогенов целесообразно рассчитывать на основе массового баланса водоемов (озер и рек), в том числе – с использованием математических моделей, основанных на массовом балансе речных систем, включая реки и озера.

Удержание биогенов, среди всего прочего, зависит от температуры, времени пребывания воды, специфики поверхностного стока, гидравлической нагрузки, характеристики дна реки, трофического статуса, кислородных условий, фиксации азота, основных химических свойств воды, водной растительности, антропогенной деятельности на водосборе. В основном, на удержание азота больше влияют биологические процессы, а на удержание фосфора процессы седиментации.

Общее направление расчетов удержания биогенных веществ водосбором и его гидрографической сетью, включающей реки и озера, заключается, прежде всего, в количественной оценке биогенной нагрузки на водосбор от различных источников загрязнения (точечных и диффузных). Затем, зная значение биогенной нагрузки на водосбор, рассчитывается доля биогенных веществ, выведенная из процесса миграции в морскую экосистему за счет биотических и седиментационных процессов в гидрографической сети водосбора.

За основу методики расчета удержания биогенных веществ гидрографической сетью водосбора принята схема расчета, приведенная в Руководстве ХЕЛКОМ, позволяющая оценивать суммарное среднегодовое удержание общих форм биогенных веществ водосбором и его гидрографической сетью без детального выявления роли отдельных рек и озер, а также внутригодовой изменчивости изучаемых процессов.

Методические указания предназначены для использования Бассейновыми водными управлениями Северо-западного Федерального округа для периодической оценки удержания биогенных элементов гидрографической сетью, позволяющей количественно оценить соотношения между сбросами на водосбор и выносом биогенных веществ в морскую среду от наземных источников и представления данных в Секретариат ХЕЛКОМ. Указания устанавливают метод проведения расчетов для оценки удержания питательных (биогенных) веществ с водотоками на российской части водосборного бассейна Балтийского моря.

Подробнее – см. работы Кондратьева С.А. и соавторов, Институт озераведения РАН.

Определения

Контролируемые реки (водосборы) – имеющие станции гидрологических и гидрохимических наблюдений в замыкающих створах.

Неконтролируемые реки (водосборы) – не имеющие станций наблюдений в замыкающих створах.

Частично контролируемые реки (водосборы) – имеющие только станции гидрологических наблюдений в замыкающих створах.

Неконтролируемые территории – водосборы частично контролируемых рек и неконтролируемых рек, прибрежные территории, сток воды и вынос биогенных веществ с которых поступает непосредственно в море.

Нагрузка на водный объект – количество вещества, поступившего в водоем за рассматриваемый интервал времени, пересчитанное на единицу площади акватории или объем водной массы - постоянно действующий фактор, определяющий качество воды в водоеме, влияющий на химический состав донных отложений и гидробиологические процессы.

Точечная нагрузка – внешняя нагрузка на водоем, сформированная сбросами очищенных и неочищенных сточных вод промышленных, муниципальных и сельскохозяйственных предприятий, осуществляемых в конкретных точках.

Распределенная нагрузка - внешняя нагрузка на водоем, сформированная за счет выноса веществ со всей площади водосбора с дождевым и талым стоком.

Фоновая (природная) нагрузка - внешняя нагрузка на водоем, сформированная за счет выноса химических веществ с естественных ландшафтов (лесов, болот, лугов естественного происхождения и др.) под воздействием дождевого и талого стоков.

Вынос вещества с водосбора – количество вещества, вынесенного за пределы водосборной площади с дождевым и талым стоком за единицу времени.

Модуль выноса - количество вещества, вынесенного с единицы площади водосбора с дождевым и талым стоком за единицу времени.

Удержание – разница между поступлением вещества от различных источников на водосборную площадь и выносом вещества в замыкающем створе за единицу времени.

Слой стока – слой осадков на поверхность водосбора за вычетом слоя потерь стока (фильтрация, испарение) за единицу времени.

Модуль стока – объем стекающих дождевых или талых вод с единицы площади водосбора за единицу времени.

Гидравлическая нагрузка на водоем – увеличение уровня водоема за счет притока за единицу времени.

Метод расчета

1. Для расчета удержания общего фосфора ($P_{\text{общ.}}$) и общего азота ($N_{\text{общ.}}$) водосбором L_{ret} [т год⁻¹] используется следующая формула:

$$L_{\text{ret}} = R_r L_{\text{tot}}, \quad \text{Формула 16}$$

где R_r - безразмерный коэффициент удержания,

L_{tot} – биогенная нагрузка на водосбор [т год⁻¹].

2. Количественная оценка коэффициента удержания R_r проводится по следующему соотношению

$$R_r = 1 - \frac{a HL^b}{1 + a HL^b}, \quad \text{Формула 17}$$

где HL – гидравлическая нагрузка [м год⁻¹],

a и b – безразмерные эмпирические параметры (Таблица 10).

Таблица 10 – Значения эмпирических параметров

Вещество	Площадь водосбора	a	b
Р _{общ.}	Для всех водосборов	13,3	-0,93
	<1000 км ²	57,6	-1,26
	1000 – 10000 км ²	9,3	-0,81
	>10000 км ²	26,9	-1,25
N _{мин}	Для всех водосборов	5,9	-0,75
	<1000 км ²	3,3	-0,65
	1000 – 10000 км ²	4,4	-0,62
	>10000 км ²	10,9	-0,94
N _{общ.}	Для всех водосборов	1.9	-0.49

3. Значение гидравлической нагрузки HL пропорционально модулю стока q [л км⁻² сек⁻¹] и обратно пропорционально относительной площади водной поверхности W [% от общей площади водосбора]:

$$HL = \frac{3.15 q}{W}, \quad \text{Формула 18}$$

для водосборов рек Калининградской области принять параметр W в диапазоне 1-3 %.

4. Значение модуля стока q [л км⁻² сек⁻¹] связано со слоем стока y [мм год⁻¹] соотношением

$$q = 0,03171y, \quad \text{Формула 19}$$

Значения слоя стока y со всего водосбора или его частей могут приниматься в соответствии с результатами натурных измерений, рассчитываться по соответствующим функциям распределения или гидрологической модели. Средний многолетний сток (норма стока) составляет 220 мм год⁻¹ для Калининградской области. Для водосбора р. Немана 250 мм год⁻¹.

5. Суммарная нагрузка на водосбор (L_{tot}) рассчитывается по следующей формуле:

$$L_{tot} = L_p + L_e + L_{mf} + L_{of} + L_a - L_c, \quad \text{Формула 20}$$

где: L_p - нагрузка, сформированная точечными источниками;

L_e - рассредоточенная эмиссия химических веществ различными типами подстилающей поверхности,

L_{mf} - нагрузка за счет внесения минеральных удобрений,

L_{of} - нагрузка, сформированная органическими удобрениями,

L_a - атмосферная нагрузка

L_c - вынос химических веществ с урожаем

Все члены уравнения (5) имеют размерность [т год⁻¹].

6. Основными точечными источниками загрязнения поверхностных вод являются сбросы сточных вод промышленных и муниципальных предприятий.

Официальным источником информации о сбросах сточных вод служат статистические формы 2ТПВодхоз Министерства природных ресурсов и экологии. Данные, содержащиеся в этих формах, приводятся с годовым осреднением (Таблица 11).

Таблица 11 – Ориентировочные данные по сбросу биогенных веществ точечными источниками в Калининградской области

Наименования административно-территориальных образований	Площадь, км ²	Объем сточных вод, млн. м ³ /год	Концентрация биогенных веществ в сточных водах, г/м ³	
			N _{общ.}	P _{общ.}
Багратионовский район	1140	1-2	10-20	5-10
Гвардейский район	787	1-2		
Гурьевский район	655	1-2		
Гусевский район	648	2-10		
Зеленоградский район	739	10-20		
Краснознаменский район	1301	Менее 1		
Неманский район	704	10-20		
Нестеровский район	1067	Менее 1		
Озерский район	848	Менее 1		
Полесский район	836	Менее 1		
Правдинский район	1268	Менее 1		
Славский район	1328	Менее 1		
Черняховский район	1130	2-10		
Балтийский гор. округ	43	10-20		
Светловский гор.округ	76	10-20		
Светлогорский гор.округ	44	10-20		
Г. Калининград	425	Более 70		
Г. Пионерский	10	10-20		
Г. Советск	40	10-20		

Для расчетов необходимо:

1) определить, в каком районе/районах расположен исследуемый водосбор.

2) определить, какую долю водосбор занимает в каждом районе (использовать Атлас трансграничных бассейнов Калининградской области).

3) исходя из предположения, что точечные источники в районах расположены равномерно, рассчитать объем сточных вод, приходящийся на соответствующую площадь района в пределах водосбора. За исходный объем сточных вод для каждого района взять среднее значение из диапазона, указанного в табл. 2.

4) для получения количества биогенных веществ, поступающих от точечных источников, полученный объем сточных вод умножить на соответствующую концентрацию и перевести полученное значение в тонны. Если рассматриваемый речной бассейн протекает по нескольким районам, необходимо рассчитать поступление биогенных веществ от точечных источников каждого района и суммировать полученные значения.

7. Рассредоточенная нагрузка на водосбор, сформированная в результате эмиссии биогенных веществ с различных типов подстилающей поверхности (естественных и антропогенных) L_e рассчитываются по формуле:

$$L_e = (C_f y_f A_f + C_u y_u A_u + C_{nat} y_{nat} A_{nat} + C_{mix} y_{mix} A_{mix}) / 1000, \quad \text{Формула 21}$$

где C_f , C_u , C_{nat} и C_{mix} – средние концентрации биогенного вещества в стоке с поля, урбанизированной площади, естественной подстилающей поверхности, смешанной территории соответственно [$\text{мг дм}^{-3} = \text{г м}^{-3}$],

y_f , y_u , y_{nat} и y_{mix} – слои стока с перечисленных типов подстилающей поверхности [мм год^{-1}]. Для наших расчётов принимаем:

-для $y_f = 250 \text{ мм/год}$,

-для $y_u = 735,6 \text{ мм/год}$,

-для $y_{nat} = 220 \text{ мм/год}$,

-для $y_{mix} = 230 \text{ мм/год}$.

A_f , A_u , A_{nat} и A_{mix} – площади перечисленных типов подстилающей поверхности [км^2]. Для определения площади сельхозугодий, используем данные табл. 12.

Таблица 12 – Площади сельскохозяйственных земель в речных бассейнах Калининградской области

Речной бассейн	Площадь, км^2	Площадь сельскохозяйственных угодий, га
Область стока в Балтийское море (северо-западная часть Балтийского моря)	300	16495
Р. Приморская	117	4688
Р. Нельма и р. Граевка	310	16243
Малые реки Куршского залива (дренируют Полескую низменность)	1038	38394
Рук. Дейма	463	19495
Р. Преголя	1582	77798
Р. Мамоновка (в пределах Калининградской области)	135	8589
Р. Прохладная (в пределах Калининградской области)	1027	61059
Р. Лава (в пределах Калининградской области)	1319	73629
Р. Голубая	601	39686
Р. Анграпа (в пределах Калининградской области)	740	49889
Р. Писса (в пределах Калининградской области)	1050	59922
Р. Инструч	1093	59375

Р. Шешупе (в пределах Калининградской области)	1104	56083
Р. Неман (в пределах Калининградской области) и водотоки Нижненеманской низменности	2475	140300

Для расчетов необходимо:

1) перевести площадь сельхозугодий из га в км².

2) вычесть площадь сельскохозяйственных земель из общей площади речного бассейна. Оставшееся значение принять за 100 %.

3) исходя из соотношения равномерного распределения естественных, урбанизированных и смешанных территорий в пределах рассматриваемого бассейна, рассчитать необходимые площади, приняв, что доля смешанных территорий – 70 %, урбанизированных 10 % и естественных – 20 %.

4) если рассматриваемый бассейн входит в состав области стока в Балтийское море или Куршский залив, то сначала определяется количество сельхозугодий в исследуемом бассейне (по пропорции).

Значения C_f , C_u , C_{nat} и C_{mix} представлены в табл. 13.

Таблица 13 – Концентрации (мг дм⁻³) $P_{общ.}$ и $N_{общ.}$ в почвенных водах и первичных звеньях гидрографической сети для различных типов подстилающей поверхности

Подстилающая поверхность	Смешанная	Естественная	Пахотные земли	Урбанизированная территория
$P_{общ.}$	0,12	0,05	0,08	0,20
$N_{общ.}$	1,4	0,7	3,1	2,3

8. Нагрузка на водосбор, сформированная в результате внесения минеральных удобрений L_{mf} задается на основе данных государственной статистической отчетности (Таблица 14).

Таблица 14 – Ориентировочное внесение фосфорных и азотных удобрений в пересчете на водосбор/сельскохозяйственные земли в пределах водосбора в Калининградской области

Речной бассейн	Внесение фосфорных удобрений, кг/год/га	Внесение азотных удобрений, кг/год/га
Область стока в Балтийское море (северо-западная часть Балтийского моря)	13/7,2	119,7/65,8
Р. Приморская	12/4,8	119,5/47,9
Р. Нельма и р. Граевка	13/6,8	120,0/62,9
Малые реки Куршского залива (дренируют Полесскую низменность)	11/4,1	99,1/36,7
Рук. Дейма	15/6,3	117,5/49,5
Р. Преголя	9/4,4	109,4/53,8
Р. Мамоновка (в пределах Калининградской области)	5/3,2	63,9/40,6
Р. Прохладная (в пределах Калининградской области)	9/5,4	81,7/48,6

Р. Лава (в пределах Калининградской области)	15/8,4	107,3/59,9
Р. Голубая	6/4,0	124,0/82,0
Р. Анграпа (в пределах Калининградской области)	4/2,7	116,9/78,8
Р. Писса (в пределах Калининградской области)	5/2,9	119,6/68,3
Р. Инструч	16/8,7	133,2/72,4
Р. Шешупе (в пределах Калининградской области)	15/7,6	132,0/67,1
Р. Неман (в пределах Калининградской области) и водотоки Нижнениманской низменности	18/10,2	123,2/69,8

Для расчетов необходимо:

1) рассчитать фактическое внесение удобрений на сельхозугодия исследуемого бассейна. Для этого умножить значения из табл. 5 (в кг/год/га) на площадь сельхозугодий (в га). Полученные значения перевести в тонны/год.

9. Если предположить, что весь образовавшийся на фермах и птицефабриках навоз и помет остается в пределах рассматриваемого водосбора, то приближенная оценка нагрузки L_{of} в формуле (5) выполняется следующим образом:

$$L_{of} = \sum_j k_{fj} N_j / 1000,$$

Формула 22

где k_f – коэффициент эмиссии $P_{общ.}$ или $N_{общ.}$ одним домашним животным j – го наименования [кг год⁻¹],

N – количество домашних животных (или птицы) – табл. 15.

Таблица 15 – Количество домашних животных в Калининградской области (по речным бассейнам)

Речной бассейн	Поголовье КРС, гол.	Поголовье свиней, гол.	Поголовье птиц, гол.
Область стока в Балтийское море (северо-западная часть Балтийского моря)	741	5238	9331
Р. Приморская	276	1540	2985
Р. Нельма и р. Граевка	749	5137	11281
Малые реки Куршского залива (дренируют Полесскую низменность)	2937	4591	8484
Рук. Дейма	1549	354	10886
Р. Преголя	5079	5180	1262449
Р. Мамоновка (в пределах Калининградской области)	328	486	2269
Р. Прохладная (в пределах Калининградской области)	2880	5907	15371
Р. Лава (в пределах Калининградской области)	5494	28267	33232
Р. Голубая	2010	798	12738
Р. Анграпа (в пределах Калининградской области)	2736	2714	17782
Р. Писса (в пределах Калининградской области)	7890	6803	26337
Р. Инструч	4259	3662	20679

Р. Шешупе (в пределах Калининградской области)	5915	1694	19303
Р. Неман (в пределах Калининградской области) и водотоки Нижненеманской низменности	17056	4651	48423

Для расчетов необходимо:

1) воспользоваться алгоритмом, аналогичному расчету площади сельскохозяйственных земель.

Значения коэффициентов k_f для различных домашних животных и птицы приведены в табл. 16.

Таблица 16 – Коэффициенты эмиссии (кг год^{-1}) $P_{\text{общ.}}$ и $N_{\text{общ.}}$ одного домашнего животного и птицы.

Наименование	$P_{\text{общ.}}$	$N_{\text{общ.}}$
Крупный рогатый скот	18,9	77,1
Свиньи	3,36	14,4
Куры	0,28	1,14

К сведению. Стоит отметить, что формулу необходимо дополнить данными по эмиссии биогенных веществ сельскими жителями, в населенных пунктах которых отсутствует система канализации. Приближенная оценка рассредоточенной нагрузки на поверхностные воды бассейна, сформированной в результате жизнедеятельности людей $L_{\text{пор}}$, возможно рассчитать с годовым осреднением по времени с использованием следующей формулы:

$$L_{\text{пор}} = \sum_j k_{pj} N_{pj} / 1000,$$

где k_p – коэффициент эмиссии $P_{\text{вал.}}$ одним сельским жителем j – го наименования [кг год^{-1}]; для $P_{\text{вал.}} = 0,033$ кг/чел. в год ,

N_p – количество жителей сельской местности, не имеющей канализации и очистных сооружений.

Тогда нагрузка для $P_{\text{общ.}}$ $L_{\text{of}} = L_{\text{of1}} + L_{\text{пор}}$

7.4 Фосфорная нагрузка, сформированная атмосферными выпадениями ($L_a = \alpha A$), задается по данным натурных наблюдений $\alpha = 0,002 - 0,005 \text{ т км}^{-2} \text{ год}^{-1}$. Для расчетов принимаем $\alpha = 0,003$.

7.5 Значение L_a для азотной нагрузки принимается равным нулю на основе предположения о равенстве значений поступления азота из атмосферы (выпадения с осадками + фиксация биотой) и улетучивания в результате денитрификации.

10. Для количественной оценки выноса биогенных веществ за пределы водосбора с собранным урожаем L_c используется следующая расчетная зависимость:

$$L_c = \beta A_f, \quad \text{Формула 23}$$

где β – модуль выноса биогенного вещества с растительной массой урожая [$\text{т км}^{-2} \text{ год}^{-1}$],

A_f – площадь полевых участков [км^2].

Результаты расчета модуля выноса $P_{общ.}$ и $N_{общ.}$ с полей Ленинградской области для условий 2007 г. содержатся в табл. 17. В расчетах используются данные, взятые за 2007 год, который является близким к среднему по водности (среднегодовой расход 50 % обеспеченности).

Для Калининградской области принимаем аналогичные значения, исходя из соображения географической близости рассматриваемых областей (обе принадлежат к Северо-западному ФО).

Таблица 17 – Рассчитанные значения модуля выноса биогенных веществ с урожаем для условий Ленинградской области в 2007 г.

Выращиваемые культуры	Площадь (га)	Урожайность (ц га ⁻¹ год ⁻¹)	Модуль выноса $P_{общ.}$ (т км ⁻² год ⁻¹)	Модуль выноса $N_{общ.}$ (т км ⁻² год ⁻¹)
Зерновые	29100	29.5	1,16	7,23
Картофель	45700	140	0,92	7,00
Овощи	6900	326	1,42	9,78
Кормовые	212400	326	1,42	9,78
Средние по водосбору			1,32	9,10

Ход работы

1. Определить по карте местоположение и границы водосборной площади.
2. Нанести на кальку границы исследуемого бассейна (границы речного бассейна проводим по линии водосбора). Для работы использовать топографические карты масштаба 1:50 000, 1:100 000, в крайнем случае – 1: 200 000.
3. Рассчитать площадь выделенного речного бассейна.
4. Записать все необходимые формулы и значения параметров из п. 4. «Метод расчета», учитывая замечания и комментарии преподавателя.
5. Подготовить в тетради или на отдельном бланке таблицу по образцу табл. 18.
- 6) Выполнить все расчеты, согласно методике, внося результаты в табл. 18.
- 7) Сравнить полученные результаты с данными карты «Географического атласа Калининградской области, 2002» на стр. 232-233 (оценить сток азота и фосфора в пределах исследуемого речного бассейна).
- 8) Написать письменное заключение о полученных результатах, в котором объяснить полученные результаты, используя картографический материал «Географического атласа Калининградской области, 2002».

Таблица 18 – Оценка удержания биогенных веществ водосборным бассейном р.

...

Параметр	Буквенное обозначение	Водосбор	
		$N_{общ.}$	$P_{общ.}$
Удержание, т	L_{ret}		
Коэффициент удержания	R_r		
Биогенная нагрузка на водосбор, тонн/год	L_{tot}		
Безразмерные эмпирические параметры	a		
	b		
Гидравлическая нагрузка, м/год	HL		

Модуль стока, л/с/км ²	q		
Относительная площадь водной поверхности водосбора, %	W		
Слой стока, мм/год	y		
Нагрузка, сформированная точечными источниками, тонн/год	L _p		
Распредоточенная эмиссия химических веществ различными типами подстилающей поверхности, тонн/год	L _e		
Средняя концентрация биогенного вещества в стоке с урбанизированной территории, г/м ³	C _u		
Средняя концентрация биогенного вещества в стоке с поля, г/м ³	C _f		
Средняя концентрация биогенного вещества в стоке с естественных ландшафтов, г/м ³	C _{nat}		
Средняя концентрация биогенного вещества в стоке со смешанных территорий г/м ³	C _{mix}		
Площадь урбанизированной территории, км ²	A _u		
Площадь полей, км ²	A _f		
Площадь естественных территорий, км ²	A _{nat}		
Площадь смешанных территорий, км ²	A _{mix}		
Слой стока с урбанизированной территории, мм/год	y _u		
Слой стока с полевых участков, мм/год	y _f		
Слой стока с естественной территории, мм/год	y _{nat}		
Слой стока со смешанной территории, мм/год	y _{mix}		
Нагрузка за счет внесения минеральных удобрений, т/год	L _{mf}		
Нагрузка, сформированная органическими удобрениями, т/год	L _{of}		
Коэффициент эмиссии биогенных веществ одним животным, кг/год	K _{fi} КРС		
	K _{fi} Свиньи		
	K _{fi} Птица		
Количество домашних животных или птицы, гол.	N _{КРС}		
	N _{Свиньи}		
	N _{Птица}		
Атмосферная нагрузка, т/год	L _a		
Модуль выноса биогенных веществ с атмосферными осадками, т*км ² /год	α		
Площадь водосбора, км ²	A _f		
Вынос химических веществ с урожаем, т/год	L _c		
Модуль выноса биогенных веществ с растительной массой урожая, т*км ² /год	β		

Форма отчетности

Результаты сдаются в табличном виде (Таблица 18) с представлением расчетов, устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. От каких факторов зависит вынос биогенных веществ с площади водосбора?
2. Какие данные необходимы, чтобы оценить биогенную нагрузку от точечных источников?

3. Какие источники поступления биогенных веществ называют диффузными?

4. Назовите основные источники поступления биогенных веществ в водные объекты.

Лабораторная работа № 8. Нормирование качества воды в водных объектах

Цель работы – получить навык определения качества воды в водных объектах.

Приборы и материалы

Исходные данные по качеству воды в водных объектах (выдает преподаватель), нормативы ПДК для водных объектов.

Общие сведения

Под качеством воды понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая пригодность воды для конкретных видов водопользования.

В РФ устанавливаются две категории водоемов (или их участков):

- 1-я – водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения,
- 2-я – водоемы рыбохозяйственного назначения.

К хозяйственно-питьевому водопользованию относится использование водных объектов или их участков в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для снабжения предприятий пищевой промышленности.

К культурно-бытовому водопользованию относится использование водных объектов для купания, занятия спортом и отдыха населения. Требования к качеству воды, установленные для культурно-бытового водопользования, распространяются на все участки водных объектов, находящихся в черте населенных мест, независимо от вида их использования объектами для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов.

К рыбохозяйственному водопользованию относится использование водных объектов для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов.

Водные объекты рыбохозяйственного значения подразделяются на водные объекты рыбохозяйственного значения высшей, первой и второй категории.

Условия выпуска сточных вод в водоемы определяются Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Согласно этим правилам для веществ, загрязняющих водные объекты, установлено раздельное нормирование в зависимости от категории водопользования.

Высшая категория устанавливается на основании данных государственного мониторинга водных биоресурсов для водных объектов рыбохозяйственного значения, которые используются или могут быть использованы для добычи (вылова) особо ценных и ценных видов водных биоресурсов или являются местами их размножения, зимовки, массового нагула, путями миграций, искусственного воспроизводства.

Первая категория устанавливается на основании данных государственного мониторинга водных биоресурсов для водных объектов рыбохозяйственного

значения, которые используются для добычи (вылова) водных биоресурсов, не относящихся к особо ценным и ценным видам, и являются местами их размножения, зимовки, массового нагула, искусственного воспроизводства, путями миграций.

Вторая категория устанавливается для водных объектов рыбохозяйственного значения, которые могут быть использованы для добычи (вылова) водных биоресурсов, не относящихся к особо ценным и ценным видам.

Информация о категории водного объекта рыбохозяйственного значения в установленном порядке вносится в государственный рыбохозяйственный реестр.

В Калининградской области р. Неман, р. Преголя, р. Прохладная, р. Красная – водотоки высшей рыбохозяйственной категории; р. Мамоновка, р. Нельма, р. Забава – водотоки первой категории; р. Злая, р. Тыльжа, р. Бородинка – водотоки второй категории.

Критерии качества воды – «характеристики состава и свойств воды, определяющие пригодность ее для конкретных видов водопользования». Современное понимание нормативов качества окружающей среды связывается также с «обеспечением устойчивого функционирования естественных экологических систем и предотвращением их деградации».

Для каждой категории водоемов установлена соответствующая ПДК.

Предельно допустимая концентрация в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ($\text{ПДК}_{\text{хоз-быт}}$) – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей ($\text{ПДК}_{\text{рыб-хоз}}$) – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

Величина $\text{ПДК}_{\text{рыб-хоз}}$ для подавляющего большинства нормируемых веществ всегда значительно меньше $\text{ПДК}_{\text{хоз-быт}}$. Это объясняется тем, что токсические соединения могут накапливаться в организме рыб в весьма значительных количествах без влияния на их жизнедеятельность.

Для веществ, внедрение которых находится на стадии производственных испытаний, может быть установлен временный гигиенический норматив - ориентировочный допустимый уровень (ОДУ), разработанный на основе расчетных и экспериментальных методов прогноза токсичности.

Вредные вещества, попадающие в водные объекты, разнообразны по своему составу, в связи с чем, их нормируют по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие данного вещества.

Для водоемов первого типа (хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения) используют три ЛПВ:

- 1. санитарно-токсикологический, (показатель характеризует вредное воздействие на организм человека). Санитарно-токсикологический подразумевает концентрацию, при превышении которой вещество становится токсичным для человека.

- 2. общесанитарный (определяет влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод за счет биохимических и химических реакций с участием естественной микрофлоры). Общесанитарный свидетельствует о нарушении санитарного состояния водного объекта.

- 3. органолептический (показатель вредности характеризует способность вещества изменять органолептические свойства воды – на цвет, запах, прозрачность, привкусы и т. д.). Органолептический обозначает концентрацию, при превышении которой вода меняет вкусовые качества, цвет, запах, а также характеризуется образованием пены или плёнки.

Для водоемов второго типа (рыбохозяйственных водоемов) – пять ЛПВ – дополнительно к перечисленным:

- 4. токсикологический (показывает токсичность вещества для живых организмов, населяющих водный объект),

- 5. рыбохозяйственный (показатель вредности определяет порчу качеств промысловых рыб).

Предельно допустимая концентрация того или иного вещества в водоеме устанавливается по тому признаку вредного действия (влияние на здоровье населения, на органолептическое или общесанитарное состояние водоема), который характеризуется меньшей пороговой концентрацией. Так как этот признак вредности определяет характер наиболее вероятного неблагоприятного действия наименьших концентраций вещества, он получил название лимитирующего признака вредности (ЛПВ).

Научно обоснован принцип гигиенического нормирования при одновременном присутствии в воде нескольких вредных веществ. Вещества одного ЛПВ проявляют аддитивное действие. Это означает, что общее воздействие двух или нескольких веществ одного ЛПВ (содержащихся в предельно допустимой концентрации каждое) будет таким же, как если бы какое-нибудь из них, присутствуя в воде в единственном числе, содержалось в двух или нескольких ПДК.

При поступлении в водный объект со сточными водами нескольких загрязняющих веществ с одинаковым ЛПВ, в водном объекте должно соблюдаться следующее соотношение:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1 \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ - концентрации загрязняющих веществ в реке, относящиеся к одной группе.

$ПДК_1, ПДК_2, ПДК_3, \dots, ПДК_i$ - предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ данной категории водопользования, относящиеся к одной группе лимитирующих показателей вредности (ЛПВ).

Формула 24

Оценка качества воды поверхностных водных объектов

Для водотоков хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения соответствие нормам проверяется в контрольном створе, расположенном на 1 км выше водозабора, а для непроточных – в радиусе 1 км (Рисунок 10).

Для рыбохозяйственных водоемов вода должна соответствовать нормам в месте выпуска сточных вод при рассеивающем выпуске (наличие течения), а при отсутствии течений – не далее чем в 500 м от места выпуска.

Сточные воды – это отработанная или загрязнённая деятельностью человека (бытовыми отбросами, промышленными отходами) вода, включающая также атмосферные осадки и продукты таяния, подлежащие удалению через канализацию или самотёком, а также последующей очистке.

подразделяются на 3 основные категории:

- бытовые (хозяйственно-фекальные),
- производственные (промышленные),
- атмосферные (дождевые, ливневые).



а) водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения



б) водоемы рыбохозяйственного водопользования

Рисунок 10 – Створы водных объектов [11]

Ход работы

1. Получают исходные данные от преподавателя:

Задача 1. В воде водного объекта, используемого для рыбохозяйственных целей, обнаружены цинк в концентрации $0,007 \text{ мг/дм}^3$ и азот аммиака в концентрации $0,02 \text{ мг/дм}^3$, азот нитритов – $0,015 \text{ мг/дм}^3$ и СПАВ в концентрации $0,43 \text{ мг/дм}^3$, допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?

Задача 2. В воде водного объекта рыбохозяйственного назначения обнаружены нефтепродукты в концентрации $0,125 \text{ мг/дм}^3$ и СПАВ в количестве $0,215 \text{ мг/дм}^3$. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?

Задача 3. В воде водного объекта рыбохозяйственного назначения обнаружены железо в концентрации $0,105 \text{ мг/дм}^3$ и медь в концентрации $0,0065 \text{ мг/дм}^3$. Допустимо ли такое содержание примесей с точки зрения санитарно-гигиенических требований?

2. Решение оформляют в тетради для лабораторных работ.

3. Готовят объяснение полученных результатов.

Форма отчетности

Выполненные расчеты. Устное собеседование. Тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятию «качество воды».

2. Что такое ПДК?

3. Что такое ЛПВ?

4. Дайте определение понятию «сточные воды».

5. На какие категории подразделяются водные объекты рыбохозяйственного назначения?

Лабораторная работа № 9. Расчет индекса загрязненности вод (ИЗВ)

Цель работы – получить навык расчета индекса загрязнения вод.

Приборы и материалы

Исходные данные по качеству воды в водных объектах (выдает преподаватель), нормативы ПДК для водных объектов.

Общие сведения

Для оценки загрязнения крупных водных объектов очень широко используется такой интегральный показатель как *индекс загрязнённости воды* (ИЗВ₆), который рассчитывается как сумма приведённых к ПДК фактических значений шести основных показателей качества воды.

Определение индекса загрязнения природных вод (ИЗВ) используется в санитарно-гигиеническом мониторинге окружающей среды. Общий принцип расчета следующий: определяется степень отклонения концентрации каждого загрязняющего вещества от его предельно-допустимой концентрации (ПДК), полученные величины объединяют в суммарный показатель, который сравнивается с гигиенической классификацией водных объектов.

ИЗВ установлен еще Госкомгидрометом СССР [Временные методические., 1986] и относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов (впрочем, необходимость его применения

не подтверждается ни одним из опубликованных позже официальных нормативных документов). Этот индекс является типичным аддитивным коэффициентом и представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad \text{Формула 25}$$

где: C_i – концентрация компонента (в ряде случаев – значение физико-химического параметра); n – число показателей, используемых для расчета индекса, $n = 6$; ПДК_i – установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта.

Для расчета индекса загрязнения вод для всего множества нормируемых компонентов, включая водородный показатель рН, биологическое потребление кислорода БПК₅ и содержание растворенного кислорода, находят отношения $C_i / \text{ПДК}_i$ фактических концентраций к ПДК и полученный список сортируют. ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций, независимо от того превышают они ПДК или нет.

При расчете ИЗВ для составляющих $C_i / \text{ПДК}_i$ по неоднозначно нормируемым компонентам применяется ряд следующих условий:

для биологического потребления кислорода БПК₅ (ПДК – не более 3 мг О₂/дм³ для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг О₂/дм³ для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования) устанавливаются специальные значения нормативов, зависящие от самого значения БПК₅ (Таблица 19):

Таблица 19 – Санитарные значения нормативов БПК₅ для расчета ИЗВ

Показатель БПК ₅ (мгО ₂ /дм ³)	Значение норматива (ПДК)
Менее 3	3
От 3 до 15	2
Свыше 15	1

концентрация растворенного кислорода нормируется с точностью до наоборот: его содержание в пробе не должно быть ниже 4 мг/дм³, поэтому для каждого диапазона концентраций компонента устанавливаются специальные значения слагаемых $C_i / \text{ПДК}_i$ (Таблица 20):

Таблица 20 – Значения слагаемых $C_i / \text{ПДК}_i$ концентрации растворенного в воде кислорода для расчета ИЗВ

Концентрация (мг/дм ³)	Значение слагаемого $C_i / \text{ПДК}_i$	По некоторым вариантам методики целесообразно в расчете ИЗВ использовать следующее
Более или равно 6	6	
Менее 6 до 5	12	

Менее 5 до 4	20	соотношение концентрации кислорода к ПДК: ПДК _{O2} /C _{O2} , т. к. тогда не исключается возможность получения значения ИЗВ в диапазоне 0,2-1
Менее 4 до 3	30	
Менее 3 до 2	40	
Менее 2 до 1	50	
Менее 1	60	

для водородного показателя pH действующие нормативы для воды водоемов различного назначения регламентируют диапазон допустимых значений в интервале от 6,5 до 8,5, поэтому для каждого сверхнормативного значения pH , выходящего за границы этого диапазона, устанавливаются специальные значения слагаемых $C_i / ПДК_i$ (Таблица 21):

Таблица 21 – Значения слагаемых $C_i / ПДК_i$ значения pH воды для расчета ИЗВ

Значения pH ниже диапазона нормы (< 6.5)	Значения pH выше диапазона нормы (> 8.5)	Значение слагаемого $C_i / ПДК_i$
Менее 6.5 до 6	Свыше 8.5 до 9	2
Менее 3 до 5	Свыше 9 до 9.5	5
Менее 5	Свыше 9.5	20

В число шести основных, так называемых «лимитируемых» показателей, при расчете ИЗВ входят в обязательном порядке концентрация растворенного кислорода и значение $БПК_5$, а также значения еще 4 показателей, являющихся для данного водного объекта наиболее неблагоприятными, или которые имеют наибольшие приведенные концентрации (отношение $c_i / ПДК_i$).

Таковыми показателями, по опыту гидрохимического мониторинга водоемов, нередко бывают нитраты, нитриты, аммонийный азот (в форме органических и неорганических аммонийных соединений), тяжелые металлы (медь, марганец, кадмий и др.), фенолы, пестициды, нефтепродукты, СПАВ. Для расчета ИЗВ показатели выбираются независимо от лимитирующего признака вредности, однако при равенстве приведенных концентраций предпочтение отдается веществам, имеющим санитарно-токсикологический признак вредности (как правило, такие вещества обладают относительно большей токсичностью).

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (Таблица 22). Устанавливается требование, чтобы индексы загрязнения воды сравнивались для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока (по течению, во времени, и так далее), а также с учетом фактической водности текущего года.

Таблица 22 – Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	>10,0	VII

К основным недостаткам относят:

- не учитываются микробиологические показатели, которые часто являются решающими при оценке пригодности воды для пользования;
- выпадают из внимания исследователей многие загрязняющие вещества, не вошедшие в группу из 6 показателей.

Более совершенный способ расчета ИЗВ приводится в СанПиН–2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

Первоначально осуществляется определение вида и фактических концентраций загрязняющих веществ в исследуемом водоёме. Все загрязняющие вещества группируются по лимитирующему признаку вредности (ЛПВ):

- органолептическому;
- токсикологическому;
- общесанитарному;
- бактериологическому.

Для органолептической и токсикологической групп веществ рассчитывают степень отклонения A_i фактических концентраций веществ $C_{факт.i}$ от их ПДК_i:

$$A_i = \frac{C_{факт.i}}{ПДК_i}, \quad \text{Формула 26}$$

Находят степень превышения ПДК S по каждой из рассматриваемых групп загрязняющих веществ:

$$S = \sum_{i=1}^n A_i, \quad \text{Формула 27}$$

где S – сумма A_i для веществ, нормируемых по органолептическому $S_{орг}$ и токсикологическому $S_{токс}$ ЛПВ; n – число нормируемых показателей качества воды.

Кроме того, для определения ИЗВ используют общесанитарный и бактериологический ЛПВ:

- концентрацию растворенного в воде кислорода, C_{O_2} , мг/дм³;
- БПК₅, мг O₂/дм³ (потребность в кислороде при биохимических процессах окисления органических веществ за 5 суток инкубационной пробы);
- ЛПКП – бактериологический ЛПВ, кл/л (число лактозоположительных кишечных палочек в 1 л воды), а также запах и привкус воды в баллах.

Сопоставляя соответствующие показатели – $S_{орг}$, $S_{токс}$, БПК₅, C_{O_2} , ЛПКП, запах и привкус с оценочными (Таблица 23), определяют степень загрязнения водного объекта и класс качества воды.

Таблица 23 – Оценочные показатели водных объектов по степени загрязнения

Показатели						ИЗВ	Класс качества	Степень загрязнения
Органолептический ЛПВ		Токсикологический ЛПВ	Общесанитарный ЛПВ		Бактериологический ЛПВ			
Запах, привкус, баллы	$S_{орг}$	$S_{токс}$	БПК ₅ , мг O_2 /дм ³	C_{O_2} , мг O_2 /дм ³	ЛПКП, кл/дм ³			
2	1	1	2	4	0	0	I	Допустимая
3	4	3	4	3	0	1	II	Умеренная
4	8	10	6	2	10	2	III	Высокая
>4	>8	>100	>6	<1,0	>10 ⁴	3	IV	Чрезвычайно высокая

ИЗВ определяют по наиболее жесткому значению оценочного показателя. Так, если по всем показателям природная вода относится к I классу качества, но содержание кислорода в ней ($3 \text{ мг/дм}^3 < C_{O_2} < 4 \text{ мг/дм}^3$), то ИЗВ такой воды следует принять за 1 и отнести её ко II классу качества (умеренная степень загрязнения). По классу качества природной воды, используя данные табл. 24, определяют вид водопользования данного водного объекта.

Таблица 24 – Виды водопользования в зависимости от степени загрязнения водного объекта

Класс качества воды	Степень загрязнения	Возможное использование водного объекта
I	Допустимая	Пригоден для всех видов водопользования практически без каких-либо ограничений
II	Умеренная	В культурно-бытовых целях использовать опасно. Использование для хозяйственно-питьевых целей без очистных водопроводных сооружений может привести к начальным симптомам интоксикации у части населения, особенно при наличии веществ I и II классов опасности
III	Высокая	Безусловная опасность культурно-бытового водопользования. Недопустимо использование как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения из-за сложности удаления токсичных веществ в процессах водоподготовки
IV	Чрезвычайно высокая	Абсолютная непригодность для всех видов водопользования. Даже кратковременное использование воды водного объекта опасно для здоровья человека

Ход работы

1. В тетради готовится таблица по образцу табл. 25.
2. Из предложенного перечня гидрохимических параметров (согласно варианту) выбираются 6 показателей, максимально превышающих нормативы.
3. Подсчитывается отношение $C_i/ПДК_i$ для каждого ингредиента и показателя в каждом створе.
3. По вышеприведённой формуле рассчитывается ИЗВ₆ в каждом пункте наблюдения. Для этого рассчитывается среднее арифметическое шести наибольших значений отношения $C_i/ПДК_i$.
4. По значению ИЗВ₆ согласно табл. 22 по семибалльной шкале определяется класс чистоты воды исследуемых водных объектов.
5. Составляется сравнительная характеристика степени загрязнения воды в исследуемых водных объектах.
6. Письменно дается ответ на вопрос: «Какие источники могут определять имеющиеся уровни загрязнения воды в рассматриваемых водных объектах?»

Таблица 25 – Расчет ИЗВствор..... г.

Параметр	Концентрация	ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения	ИЗВ	Класс качества вод

Форма отчетности

Результаты сдаются в табличном виде (Таблица 25) с выводом.

Вопросы для самопроверки

1. На чем основаны методы комплексной оценки качества вод?
2. Что такое ИЗВ?
3. Как рассчитать ИЗВ?

Лабораторная работа № 10. Расчет норматива допустимого (НДС) сброса загрязняющих веществ в водный объект

Цель работы – получить навык расчета НДС загрязняющих веществ в водный объект.

Приборы и материалы

Данные гидрохимического мониторинга основных водных объектов Калининградской области. Исходные данные для расчета норматива допустимого сброса (НДС).

Общие сведения

В целях методического обеспечения нормативов допустимого сброса веществ в поверхностные водные объекты как составляющей нормативов допустимого воздействия на водные объекты разработана Методика расчета НДС. Целью Методики является определение единых методических подходов по расчету НДС, порядка разработки, согласования и утверждения НДС и лимитов на сбросы загрязняющих веществ со сточными водами, установление унифицированных форм документации и требований по осуществлению контроля над соблюдением НДС и лимитов на сбросы веществ в поверхностный водный объект со сточными водами.

Методика расчета НДС основывается на действующих правовых документах в области использования и охраны водных ресурсов и учитывает следующие основные принципы:

1. Бассейновый принцип – учет общего воздействия всех источников загрязнения на водный объект по привносу веществ, определяемых нормативом допустимого воздействия (НДВ), и установление единых нормативов качества воды для расчетного участка, а также предоставление равных условий пользования водными ресурсами субъектами хозяйственной деятельности.

2. Экологосистемный принцип – необходимость установления экологических нормативов качества воды, равных экологически допустимому уровню абиотических факторов, гарантирующих устойчивое функционирование водных систем и их экологическое благополучие.

НДС – это нормативы, которые установлены для субъектов хозяйственной и иной деятельности в соответствии с показателями массы химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов, допустимых для поступления в водные объекты от стационарных, передвижных и иных источников в установленном режиме и с учетом технологических нормативов, при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества воды водного объекта.

НДС устанавливаются для каждого действующего, реконструируемого и проектируемого выпуска сточных вод с учетом ассимилирующей способности водного объекта и равномерного ее использования между водопользователями, сбрасывающими сточные воды.

В качестве нормативов качества воды водного объекта могут приниматься: предельно допустимые концентрации для химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (гигиенические нормативы ПДК);

предельно допустимые концентрации для химических веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного значения (рыбохозяйственные нормативы ПДК);

ОДУ (ориентировочно допустимые уровни) химических веществ в воде водных объектов питьевого и хозяйственно-бытового (хозяйственно-питьевого) и рекреационного (культурно-бытового) водопользования;

ОБУВ (ориентировочно безопасный уровень воздействия) вредных веществ в воде водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение.

региональный природный фон отражает значения показателей качества воды, сформировавшихся под влиянием природных факторов, характерных для конкретного региона, не являющихся вредными для сложившихся водных экосистем (для естественных природных водных объектов идентичен экологическим ПДК);

целевой показатель качества воды (ЦПКВ) для сильно модифицированных водных объектов;

технологический норматив для искусственных водных объектов.

Перечень нормируемых веществ формируется на основе исходной информации об использовании веществ на конкретном предприятии и анализе данных о качестве забранной из водного объекта воды, поступающей из других источников и собственно сточных вод. Если доказано, что источником сброса таких веществ является конкретный водопользователь, вещества включаются в список нормируемых, даже если их содержание в сточной воде не превышает ПДК.

Перечень нормируемых загрязняющих веществ включает вещества, для которых одновременно характерно:

содержание в сточных водах выше величин, установленных нормативами качества воды по химическим показателям;

содержание в сточных водах повышается в сравнении с забираемой водой.

При установлении нормативов качества воды для конкретного водного объекта или расчетного водохозяйственного участка учитываются следующие принципы:

приоритет охраны водных объектов перед их использованием, при котором не должно оказываться негативное воздействие на окружающую среду,

приоритет использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения перед иными целями их использования;

сохранение водных биологических ресурсов и видового разнообразия водного объекта;

сохранение особо охраняемых водных объектов.

Для поверхностных водных объектов, используемых в целях питьевого и хозяйственного водоснабжения, здравоохранения, рекреации, устанавливаются гигиенические нормативы состава и свойств воды.

Для поверхностных водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях (сохранения, воспроизводства и добычи рыбных ресурсов), устанавливаются рыбохозяйственные нормативы состава и свойств вод, предусмотренные «Перечнем рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение» и дополнениями к нему

При невозможности соблюдения НДС могут устанавливаться лимиты на сбросы загрязняющих веществ на основе решений, действующих только в период проведения мероприятий по охране окружающей среды, внедрения наилучших существующих технологий и (или) реализации других природоохранных

проектов с учетом поэтапного достижения установленных нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов.

НДС и лимиты на сбросы веществ и микроорганизмов со сточными водами устанавливаются в виде требований к показателям физических, химических, физико-химических, биологических и органолептических свойств воды, содержание которых может быть определено с применением существующих методов и методик выполнения измерений.

НДС и лимиты на сбросы для конкретного выпуска сточных вод устанавливаются только для веществ, которые образовались в процессе производственной и/или иной деятельности, исходя из технологического регламента производственной деятельности водопользователя, и сброс которых в водные объекты оказывает или может оказать на них негативное воздействие.

Расчет НДС в водный объект, а также лимитов на сбросы проводится, как правило, на бассейновом уровне.

Расчет НДС в водный объект на локальном уровне рекомендуется выполнять в следующих случаях:

- единого выпуска сточных вод в водоток или на водохозяйственный участок водотока;

- при сбросе веществ со сточными водами в водоемы с обоснованием отсутствия взаимного влияния выпусков.

Для постоянных источников загрязнения НДС устанавливается:

- для действующих объектов сроком на 5 лет;

- для проектируемых объектов на полную их мощность сроком до 5 лет, начиная с момента ввода их в эксплуатацию;

- для строящихся и реконструируемых объектов – на полный объем введенных мощностей – до ввода очередной мощности.

Для периодических источников загрязнения НДС устанавливаются на срок не более 3 лет.

При использовании ОДУ химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого назначения НДС, на эти вещества устанавливаются на срок не более 3 лет – до установления ПДК. При использовании рыбохозяйственных ОБУВ НДС устанавливаются на срок не более 2 лет - до установления ПДК.

НДС пересматриваются в случаях:

- изменения водохозяйственной обстановки;

- изменения гидрологических характеристик водного объекта;

- изменения вида и объема выпускаемой продукции, потребляемого сырья, технологии производства и связанного с этим изменения состава сточных вод;

- изменения объемов водоотведения, пересмотра норм водоотведения и связанных с этим изменений, концентраций веществ в сточных водах;

- изменения нормативов качества воды в водном объекте;

- получения новых данных о степени опасности вещества, содержащегося в сточных водах;

разработки и внедрения методик выполнения измерений / биотестирования, уточнения их метрологических характеристик, позволяющих выявить, повышение экологической опасности сброса;

изменения иных параметров, используемых при расчете НДС.

Вопрос о продлении срока действия НДС решается на основании информации, ежегодно представляемой водопользователем о неизменности технологических процессов, состава сточных вод и других необходимых сведений, достоверность которых подтверждается результатами государственного экологического контроля или после проведения очередной инвентаризации сброса, а также информации о качественном изменении состава воды в водном объекте.

Условия сброса сточных вод при разработке НДС для отдельного водовыпуска учитывают общие ограничения и требования:

определение водных объектов или их участков, сброс на которые запрещен либо требует особых критериев;

отсутствие или наличие возможности учета ассимилирующей способности водного объекта, включая степень смешения;

определение необходимости расчета НДС по бассейновому принципу и/или возможности индивидуального расчета;

установление контрольного створа;

организация контроля объема и качества сточных вод.

Сброс сточных вод в водные объекты запрещен:

-в пределах первого пояса зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого назначения;

-в пределах первого пояса округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов;

-в пределах государственных природных заповедников и особо охраняемых зон других категорий особо охраняемых природных территорий;

-в пределах рыбоохранных зон (участки массового нереста, нагула, зимовок, пути массовых миграций, участки для рыбоводства, марикультуры) и рыбохозяйственных заповедных зон;

-на любом участке водных объектов без очистки.

Во всех остальных случаях сброс сточных и дренажных вод в поверхностные водные объекты допустим с определенными требованиями и ограничениями к составу и свойствам сточных вод.

Сброс сточных вод должен осуществляться равномерно, не превышая установленного проектом канализования предприятия – водопользователя коэффициента неравномерности; для обеспечения указанного режима и предотвращения залповых сбросов в состав водоохранного комплекса должны входить резервные емкости, усреднители или другие сооружения для регулирования сброса; в необходимых случаях должны быть предусмотрены аварийные резервные емкости.

При сбросе в водные объекты вод после охлаждения агрегатов допустимые концентрации для расчета НДС устанавливаются в виде допустимых приращений к концентрациям контролируемых веществ в воде водного объекта в месте водозабора при условии водопользования одним водным объектом. Величина

приращения определяется технологически обоснованными потерями воды на испарение и другими технологическими факторами.

Место сброса городских сточных вод должно быть расположено ниже границы населенного пункта по течению водотока на расстоянии, исключающем влияние стонно-нагонных явлений. Сброс сточных вод в границах населенного пункта допускается в исключительных случаях. При этом сброс сточных вод в границах населенного пункта должен производиться через рассеивающие выпуски, гарантирующие обеспечение нормативных требований к составу и свойствам воды в створе начального разбавления рассеивающего выпуска.

Методика расчета НДС отдельного выпуска в водоток

Условия сброса сточных вод в поверхностные водные объекты и порядок расчета нормативов допустимого сброса веществ, содержащихся в сбрасываемых сточных водах, регламентируются «Методикой расчета нормативов допустимых сбросов (НДС) веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей». Величины нормативов допустимых сбросов (НДС) разрабатываются и утверждаются на период 5 лет для действующих и проектируемых организаций водопользователей. Разработка величин НДС осуществляется как организацией-водопользователем, так и по поручению проектной или научно-исследовательской организации.

Величины НДС определяются для всех категорий водопользователей по формуле

$$НДС = q_{см} \cdot C_{НДС}, (\text{г/час}), \quad \text{Формула 28}$$

где $q_{см}$ – максимальный часовой расход сточных вод, м³/ч; $C_{НДС}$ – допустимая концентрация загрязняющего вещества, г/м³.

Величина допустимой концентрации загрязняющего вещества для консервативного вещества, по которому ассимилирующая способность водоема обусловливается только разбавлением, определяется по формуле

$$C_{НДС} = n(C_{ПДК} - C_{\phi}) + C_{\phi}, (\text{г/м}^3), \quad \text{Формула 29}$$

где $C_{ПДК}$ – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока, г/м³; C_{ϕ} – фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке выше выпуска сточных вод, г/м³; n – кратность общего разбавления сточных вод в водотоке.

Представим ситуацию, когда промышленное предприятие сбрасывает сточные воды после технологического процесса (Рисунок 11).

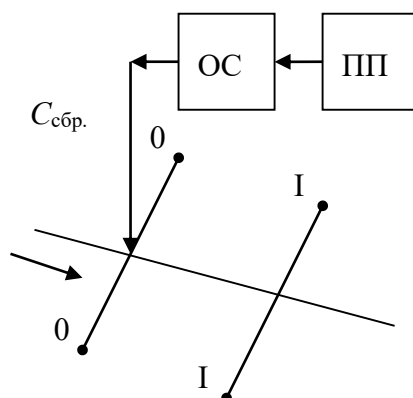


Рисунок 11 – Ситуационная схема для расчета условий сброса сточных вод: 0–0 – нулевой створ; I–I – расчетный створ; ПП – промышленное предприятие; ОС – очистное сооружение

Створ – условное сечение водоема или водотока, в котором производится комплекс работ для получения данных о качестве воды.

Контрольный створ – это поперечное сечение потока, в котором контролируется качество воды.

Фоновый створ – контрольный пункт, расположенный выше по течению от сброса загрязняющих веществ.

Для водоемов питьевых, хозяйственно-бытовых целей нормативы качества вод или их природный состав и свойства выдерживаются на водотоках, начиная со створа, расположенного выше ближайшего по течению пункта водопользования на 1 км (водозабор для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, места купания, организованного отдыха и населенного пункта).

Для водоемов рыбохозяйственного назначения нормативы качества поверхностных вод или их природный состав и свойства соблюдаются на протяжении всего участка водопользования, начиная с контрольного створа, но не далее 500 м от места сброса сточных вод или расположения других источников загрязнения поверхностных вод (места добычи полезных ископаемых).

В случае одновременного использования водного объекта или его участка для различных нужд для состава и свойств его вод принимаются наиболее жесткие нормы качества воды из числа установленных.

Таким образом, ситуационная схема для разных видов водопользования показана на рис. 12.

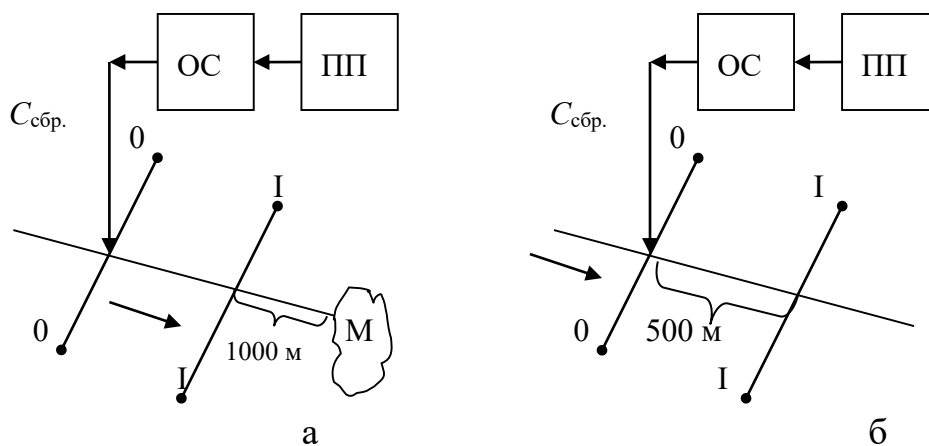


Рисунок 12 – Ситуационная схема для водотока: а – культурно-бытового (М – населенный пункт); б – рыбохозяйственного водопользования

При сбросе сточных вод в водные объекты санитарное состояние водного объекта в расчетном створе считается удовлетворительным, если соблюдается следующее условие:

$$\sum_{i=1}^Z \frac{C_{pc}^i}{C_{ПДК}^i} \leq 1, \quad \text{Формула 30}$$

где C_{pc}^i – концентрация i -го вещества в расчетном створе при условии одновременного присутствия Z веществ, относящихся к одному и тому же лимитирующему показателю вредности (ЛПВ); $i = 1, 2, \dots, Z$; Z – количество веществ с одинаковым ЛПВ; $C_{ПДК}^i$ – предельно допустимая концентрация i вещества.

Основной механизм снижения концентрации загрязняющего вещества при сбросе сточных вод в водные объекты – разбавление.

Разбавление сточных вод – это процесс снижения концентрации загрязняющих веществ в водоемах, вызванный перемешиванием сточных вод с водной средой, в которую они выпускаются.

Интенсивность процесса разбавления количественно характеризуется кратностью разбавления n , которая равна отношению суммы расходов сточной воды $q_{ст}$ и окружающей водной среды Q к расходу сточной воды

$$n = \frac{Q + q_{ст}}{q_{ст}}, \quad \text{Формула 31}$$

или отношением избыточных концентраций загрязнений в месте выпуска к аналогичным концентрациям в рассматриваемом сечении водотока (общее разбавление на участке):

$$n = \frac{C_{ст} - C_{ф}}{C - C_{ф}}, \quad \text{Формула 32}$$

где $C_{ст}$ – концентрация загрязняющих веществ в сточной воде, г/м³; $C_{ф}$ – концентрация загрязняющих веществ в водоёмах до выпуска сточных вод, г/м³; C – концентрация загрязняющих веществ сточной воды в рассматриваемом сечении водотока после выпуска сточных вод, г/м³.

Процесс разбавления сточных вод происходит в две стадии: начальное и основное разбавление. Общая кратность разбавления представляется в виде произведения

$$n = n_n \cdot n_0, \quad \text{Формула 33}$$

где n_n – кратность начального разбавления, n_0 – кратность основного разбавления.

Кратность начального разбавления определяется по методу Н.Н. Лапшева для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков в водоток при абсолютных скоростях истечения струи из выпуска больше 2 м/с или при соотношении $v_{ст} \geq 4v_{ср}$, где $v_{ср}$ и $v_{ст}$ – средние скорости речных и сточных вод.

При меньших скоростях истечения из выпуска расчет начального разбавления не производится.

Кратность основного разбавления n_0 в водотоке у расчетного створа определяется по методу В.А. Фролова и И.Д. Родзиллера по формуле

$$n_0 = \frac{\gamma \cdot Q + q_{см}}{q_{см}}, \quad \text{Формула 34}$$

где γ – коэффициент смешения, показывающий, какая часть воды реки участвует в разбавлении сточных вод; $q_{см}$ – максимальный расход сточных вод, м³/с; Q – расчетный минимальный расход воды водотока в контрольном створе, м³/с.

Распространение примесей происходит в направлении господствующих течений, и в этом же направлении кратность разбавления имеет тенденцию к увеличению. Так, в начальном сечении (в месте выпуска) кратность разбавления $n_n = 1$ ($Q = 0$ или $C = C_{ст}$), а затем по мере увеличения расходов жидкости концентрация примеси снижается, а кратность разбавления растет. В пределе, когда в процесс перемешивания вовлекаются все возможные для данного водного объекта расходы воды, наступает полное перемешивание. В условиях полного перемешивания концентрация загрязняющих веществ стремится к фоновой, т.е. $C \rightarrow C_{ф}$.

Участок водоёма или водотока от места выпуска сточных вод до сечения, где произойдет их полное перемешивание, условно разделяют на три зоны (Рисунок 13):

1-я зона – начальное разбавление. Здесь процесс разбавления происходит за счет увлечения жидкости водоема турбулентным потоком струи сточной воды, истекающей из выпускных устройств. В конце первой зоны разность скоростей струйного потока и окружающей среды становится незначительной.

2-я зона – основное разбавление. Степень разбавления в этой зоне определяется интенсивностью турбулентного перемешивания.

3-я зона – в этой зоне разбавления сточной воды практически нет. Снижение концентраций загрязняющих веществ происходит в основном за счет процессов самоочищения воды.

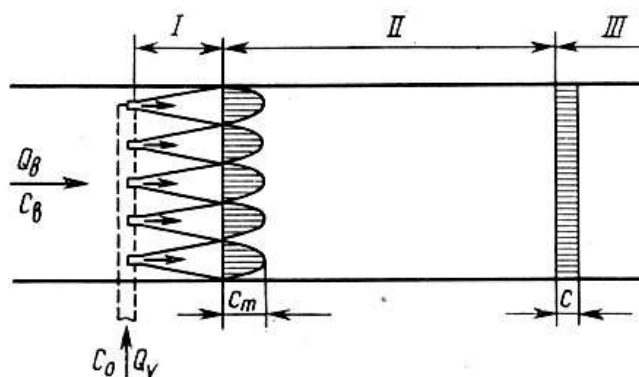


Рисунок 13 - Схема распространения сточных вод в водоеме

Процессы, изменяющие характер веществ, поступающих в водные объекты, называют процессами самоочищения. Совокупность разбавления и самоочищения составляют обезвреживающую способность водного объекта.

Таким образом, решить задачу о разбавлении сточной воды в водотоке или водоёме – означает определить концентрацию одного или нескольких загрязняющих веществ в любой точке локальной зоны водного объекта, подверженной влиянию сточных вод.

При этом нужно:

- 1) установить картину распространения загрязняющих веществ в водотоке под влиянием сброса сточных вод с учетом гидродинамических факторов;
- 2) выявить влияние естественных факторов на процесс разбавления с целью наилучшего использования местных условий для его регулирования;
- 3) определить возможность применения искусственных мероприятий для интенсификации разбавления сточных вод.

Разбавление сточных вод в водотоках определяется комплексным влиянием следующих трех процессов:

- распределение сточных вод в начальном сечении водотока, которое зависит от конструкции выпускного сооружения;
- начальное разбавление сточных вод, протекающее под действием турбулентных струй;
- основное разбавление сточных вод, определяющееся гидродинамическими процессами водоёмов и водотоков.

Все факторы и условия, характеризующие процесс разбавления, можно разделить на две группы:

1-я группа – конструктивные и технологические особенности выпуска сточных вод (конструкция выпускного сооружения; число, форма и размеры выпускных отверстий; расход и скорость выпускаемых сточных вод; технология и санитарные показатели сточных вод (физические свойства, концентрация загрязняющих веществ и др.);

2-я группа – гидрометеорологические особенности водоёмов и водотоков (характер движения водных масс; причины, вызывающие эти движения (сток,

ветер, температура, плотность и т.д.; морфологические характеристики русла водотока или ложа водоёма; степень проточности водоёма; состав и свойства водной среды).

Например, из факторов первой группы установлено, что разбавление протекает более интенсивно при рассеивающих выпусках. Из физических свойств сточной воды наибольшее влияние на разбавление оказывают начальная плотность и температура, причем не их абсолютные значения, а разность между параметрами сточной воды и окружающей водной среды.

Из факторов второй группы существенное значение имеют вторичные течения, которые имеют место, например, на повороте русла, когда потоки движутся не только в основном, но и обратном направлении.

Расчет концентрации C_p в произвольном створе. Уравнение материального баланса, которое применимо к потоку сточных вод

$$C_{ст} \cdot q_{ст} = C_{ф} (\gamma Q + q_{ст}) - C_{ф} \cdot \gamma \cdot Q, \quad \text{Формула 35}$$

где $q_{ст}$ – расход сточных вод, м³/с; Q – расход воды в реке, м³/с; $C_{ст}$ – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, мг/л; $C_{ф}$ – фоновая концентрация того же вещества в реке выше места сброса, мг/л; $C_{к.ст}$ – концентрация загрязняющего вещества в контрольном створе мг/л; γ – коэффициент смешения.

Отсюда:

$$C_p = \frac{C_{ст} \cdot q_{ст} + C_{ф} \cdot \gamma \cdot Q}{\gamma \cdot Q + q_{ст}}, \text{ г/м}^3. \quad \text{Формула 36}$$

Расчет разбавления в водотоках и водоемах

При проектировании и реконструкции промышленных предприятий, расположенных вблизи рек, в первую очередь необходимо оценить возможность сброса производственных сточных вод в реку. Наибольшее распространение получил метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера. Этот метод применим для больших и средних водотоков и может быть использован при условии $0,0025 \leq q_{ст}/Q \leq 0,1$.

Метод основан на решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии при следующих допущениях: речной поток считается безграничным, начальное разбавление отсутствует, выпуск сточных вод сосредоточенный. Следует отметить, что для рек зона начального разбавления значительно короче, чем для озер и водохранилищ, поэтому в большинстве методик расчета разбавления сточных вод в реках начальное разбавление не учитывают. Этим методом определяют концентрацию загрязняющих веществ для максимально загрязненной струи потока реки без уточнения расположения этой струи, ее формы и размеров;

В соответствии с методом В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера коэффициент смешения, характеризующий долю расхода воды в реке, которая смешивается со сточными водами, определяется по формуле

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L_{\phi}}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha \sqrt[3]{L_{\phi}}}}, \quad \text{Формула 37}$$

где Q – среднемесячный расход воды водотока 95%-й обеспеченности, м³/с; q – максимальный расход сточных вод, подлежащих сбросу в водоток, м³/с; L_{ϕ} – расстояние по фарватеру водотока от места выпуска до контрольного створа (*фарватер* – наиболее глубокая полоса данного водного пространства), м; α – коэффициент, зависящий от гидравлических условий потока:

$$\alpha = \xi \varphi^3 \sqrt{\frac{D_c}{q_{cm}}}, \quad \text{Формула 38}$$

где ξ – коэффициент, зависящий от расположения выпуска сточных вод в водоток: при выпуске в фарватер $\xi = 1,5$; при выпуске у берега – 1,0; φ – коэффициент извилистости водотока, т. е. отношение расстояния между рассматриваемыми створами водотока по фарватеру к расстоянию по прямой; D_c – коэффициент турбулентной диффузии.

На рис. 14 приведена схема по назначению участка реки, где осуществляется смешение сточных вод с водой водоема.

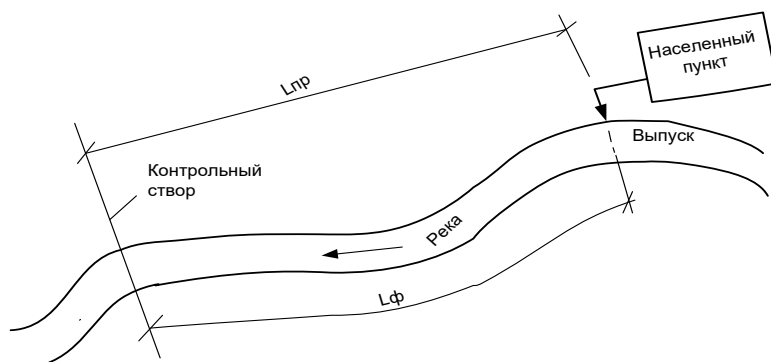


Рисунок 14 – Схема участка реки, участвующего в смешении сточных вод с водой водоема: L_{np} – расстояние по прямой; L_{ϕ} – расстояние по фарватеру

Для равнинных рек и упрощенных расчетов коэффициент турбулентной диффузии находят по формуле М.В. Потапова:

$$D_c = \frac{v_{cp} \cdot H_{cp}}{200}, \quad \text{Формула 39}$$

где v_{cp} – средняя скорость течения водотока на интересующем нас участке между нулевым и расчетным створами, м/с; H_{cp} – средняя глубина на этом участке, м.

Коэффициент турбулентной диффузии для детальных расчетов определяется по формуле А.В. Караушева как

$$D_c = \frac{g \cdot v_{cp} \cdot H_{cp}}{M_{ш} \cdot C_{ш}}, \quad \text{Формула 40}$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения водотока на участке, м/с; $H_{\text{ср}}$ – средняя глубина на рассматриваемом участке, м; $C_{\text{ш}}$ – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$.

Величина $M_{\text{ш}}$ определяется по формуле:

$$M_{\text{ш}} = \begin{cases} 0,7 \cdot C_{\text{ш}} + 6 & \text{при } 10 \leq C_{\text{ш}} \leq 60 \\ 48 & \text{при } C_{\text{ш}} > 60 \end{cases}, \quad \text{Формула 41}$$

Произведение $M_{\text{ш}} \cdot C_{\text{ш}}$ имеет размерность м/с^2 .

Применительно к методу В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера для летнего периода времени коэффициент турбулентной диффузии рассчитывают по формуле

$$D_c = \frac{g \cdot v_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{37 \cdot n_{\text{ш}} \cdot C_{\text{ш}}^2}, \quad \text{Формула 42}$$

где $n_{\text{ш}}$ – коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый по табл. 1 (по М.Ф. Срибному).

Коэффициент Шези $C_{\text{ш}}$ находится по формуле Н.Н. Павловского (при $H_{\text{ср}} \leq 5 \text{ м}$).

$$C_{\text{ш}} = \frac{R^{y_{\text{П}}}}{n_{\text{ш}}}, \quad \text{Формула 43}$$

где R – гидравлический радиус потока, м ($R = H_{\text{ср}}$); $y_{\text{П}}$ – показатель степени.

Показатель степени определяем по формуле

$$y_{\text{П}} = 2,5\sqrt{n_{\text{ш}}} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n_{\text{ш}}} - 0,1) \quad \text{Формула 44}$$

В случае проведения расчетов в зимний период (период ледостава) в выше представленные формулы вместо глубины потока $H_{\text{ср}}$ вводится значение $0,5H_{\text{ср}}$, а вместо коэффициента шероховатости ложа $n_{\text{ш}}$ – его приведенное значение $n_{\text{шпр}}$:

$$n_{\text{шпр}} = n_{\text{ш}} \left[1 + \left(\frac{n_{\text{л}}}{n_{\text{ш}}} \right)^{1,5} \right]^{0,67} \quad \text{Формула 45}$$

где $n_{\text{л}}$ – коэффициент шероховатости нижней поверхности льда по П.Н. Белоконю (Таблица 27).

Таблица 26 – Коэффициенты шероховатости ложа реки

Характеристика русла	Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш}}$
Естественные русла в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, не засоренное, земляное со сводным течением)	0,025
Русла постоянных водотоков равнинного типа, преимущественно больших и	0,03

средних рек, в благоприятных условиях ложа и течения реки, периодические водотоки (большие и малые) при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа	
Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с некоторыми неправильностями в направлении струи или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни). Земляные русла периодических водотоков в относительно благоприятных условиях	0,04
Русла больших и средних рек, значительно засоренные, извилистые и частично засоренные, каменистые, с беспокойным течением. Периодические (ливневые и весенние) водотоки с крупногалечным или покрытым растительностью ложем. Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (травы, кустарники)	0,05
Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые. Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья с наличием заводей). Галечно-валунные русла горного типа с неправильной поверхностью водного зеркала. Порожистые участки равнинных рек	0,067
Русла со слабым течением и поймы, значительно заросшие, с большими глубокими промоинами. Валунные, горного типа русла с неправильной поверхностью водного зеркала (с летящими вверх брызгами воды)	0,08
Русла горно-водопадного типа с крупновалунным и извилистым строением ложа, перепады ярко выражены, извилистость весьма сильная. Поймы значительно заросшие, но с резко выраженным косоструйным течением, заводями и др.	0,1
Русла болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и др.). Поймы с очень большими мертвыми пространствами, с местными углублениями (озерами и др.)	0,133

Таблица 27 – Значение коэффициента шероховатости нижней поверхности льда для периода ледостава

Период ледостава, сут.	Коэффициент шероховатости нижней поверхности льда n_l
1–10	0,15–0,05
10–20	0,1–0,04
20–60	0,05–0,03
60–80	0,04–0,015
80–100	0,025–0,01

Метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера достаточно прост в применении и позволяет получить достоверное представление о потенциально возможном разбавлении сточных вод в стационарных, максимально неблагоприятных условиях, что и определяет целесообразность его использования для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах.

Расчет допустимой концентрации загрязняющего вещества в сточных водах

Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточной воде ($C_{ст\ док}$) должна иметь такое значение, чтобы в контрольном створе выполнялось требо-

вание $C_{к.ст} \leq ПДК$. В уравнении материального баланса зададим предельную величину $C_{к.ст}$, т. е. $C_{к.ст} = C_{ПДК}$. Учитывая, что кратность разбавления n связана с коэффициентом смешения γ следующим соотношением:

$$\frac{\gamma \cdot Q}{q_{ст}} = n - 1 \quad \text{Формула 46}$$

Получим

$$C_{ст.ок} = n(C_{ПДК} - C_{\phi}) + C_{\phi} \quad \text{Формула 47}$$

Допустимая концентрация вещества в сточных водах $C_{ст.ок}$ с учетом неконсервативности загрязняющего вещества рассчитывается по формуле

$$C_{ст.ок} = n(C_{ПДК}e^{k_c \cdot t} - C_{\phi}) + C_{\phi}. \quad \text{Формула 48}$$

где t – продолжительность пробега воды от места выпуска сточных вод до расчетного створа, сут; k_c – коэффициент неконсервативности, 1/сут (Таблица 28).

Таблица 28 – Коэффициенты неконсервативности (скорости разрушения) некоторых веществ

Наименование вещества	k , 1/сут, при температуре воды, °С					
	> 15		10 - 15		< 10	
	водоем	водоток	водоем	водоток	водоем	водоток
Аммиак, ион аммония*	0,5	2,7	0,3	1,8	0,2	0,9
Бензин	0,8	2,4	0,05	0,15	0,02	0,06
Медь**	0,6	1,8	0,4	1,2	0,2	0,6
Нефтепродукты	0,04	0,3	0,03	0,2	0,007	0,02
Никель	0,1	0,3	0,07	0,2	0,03	0,1
СПАВ	0,15	0,9	0,1	0,6	0,05	0,3
Фенолы	0,1	0,6	0,08	0,4	0,04	0,2
Формальдегид	1,0	3,0	0,7	2,1	0,2	0,6
Хром**	0,1	0,3	0,07	0,2	0,03	0,1
Цинк**	0,2	0,6	0,1	0,3	0,03	0,1
* По азоту.						
** В неорганических соединениях.						

Вещества, концентрация которых изменяется в воде водного объекта только путем разбавления, называются *консервативными*; вещества, концентрация которых изменяется как под действием разбавления, так и вследствие протекания различных химических, физико-химических и биологических процессов – *неконсервативными*.

Когда $C_{ст} \leq C_{ст.дк}$, дополнительных мер по очистке сточных вод перед сбросом в водоем не требуется. В иной ситуации необходимую степень очистки сточных вод $\mathcal{E}$, %, можно рассчитать по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{ст} - C_{ст.дк}}{C_{ст}} \cdot 100\%. \quad \text{Формула 49}$$

Необходимая степень очистки сточных вод говорит о том, на сколько процентов необходимо снизить концентрацию загрязнения в процессе очистки сточных вод для обеспечения норм качества воды в приемнике сточных вод.

Зная допустимую концентрацию загрязняющего вещества ($C_{НДС}$), можно рассчитать нормативно допустимый сброс по формуле 28.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод

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

$$\sum_1^z \frac{C_{pc}^z}{C_{пдк}^z} \leq 1 \quad \text{Формула 50}$$

Для достижения данного условия необходимо заранее рассчитать предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, с которыми эта вода может быть сброшена в водный объект.

Основные виды расчетов:

-Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ.

-Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода.

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

-Расчет допустимой температуры сточных вод перед сбросом их в водные объекты.

-Расчет необходимой степени очистки сточных вод по вредным веществам.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ

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

$$C_{оч} = P \left(\frac{Q}{q} + 1 \right) + C_{\phi}, \quad \text{Формула 51}$$

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

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

$$\mathcal{E}_{взв} = \frac{C_{ст} - C_{оч}}{C_{ст}} \cdot 100\%. \quad \text{Формула 52}$$

Расчет допустимой температуры сточных вод перед сбросом их в водные объекты

Расчет ведут исходя из условий, что температура воды водного объекта не должна повышаться более величины, оговоренной Правилами в зависимости от вида водопользования.

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

$$T_{ст.} \leq nT_{доп} + T_{в}, \quad \text{Формула 53}$$

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

Расчет допустимой концентрации растворенного кислорода в сточных водах

Концентрацию растворенного кислорода в очищенной сточной воде, разрешенной к сбросу в водный объект, определяют из выражения:

$$C_{O_{2ст.ок}} = 2,5 \frac{\gamma Q}{q_{ст}} (C_{ф} - 0,4C_{БПК_{ф}} - 4) - 10, \quad \text{Формула 54}$$

где $C_{ф}$ – концентрация растворенного кислорода до выпуска сточных вод, мг/дм³; $C_{БПК_{ф}}$ – концентрация органических веществ (по БПК_{полн}) воды в водном объекте выше места сброса сточных вод

Расчет допустимой концентрации органических веществ (по БПК_{полн}) в сточных водах

а) по БПК_{полн} – с учетом биохимического процесса самоочищения вод от органических веществ сточных вод и органических веществ уже имеющихся в водоеме выше места выпуска сточных вод. Расчеты проводятся по формуле:

$$C_{ст} = \frac{\gamma Q}{q 10^{-C_d}} (C_{прд} - C_{\phi} 10^{-C_d'}) + \frac{C_{прд}}{10^{-C_d}} \quad (12)$$

где $C_{ст}$ – концентрация органических веществ (в БПК_{полн}), которая должна быть достигнута в процессе очистки сточных вод перед сбросом в водоем [мг/л];

C_{ϕ} – фоновая концентрация органических веществ (в БПК_{полн}) в воде водоема до места выпуска сточных вод [мг/л];

$C_{прд}$ или ПДК – предельно-допустимая концентрация органических веществ (в БПК_{полн}) в створе ближайшего пункта водопользования [мг/л];

C'_1 и C''_2 – константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды водоема (при спуске бытовых сточных вод эти константы могут быть приняты одинаковыми $C'_1 = C''_2 = 0,1$);

Ход работы

1. В тетради или на отдельном листе приготовить таблицу по образцу таблицы 4.

Таблица 29 – Расчет НДС и фактического сброса сточных вод

Показатель	Концентрация вещества в сточной воде $C_{ст}$, мг/дм ³	Фактический сброс		ПДК вещества в воде, мг/дм ³	Нормативно допустимая концентрация вещества в сточной воде, $C_{ст.дк}=C_{ндс}$, мг/дм ³	НДС		Необходимая степень очистки сточных вод, %
		г/с	т/год			г/с	т/год	

2. Выполнить необходимые расчеты, используя исходные данные соответствующего варианта (вариант для расчетов выдает преподаватель, см. вариант 1).

3. Заполнить таблицу, проанализировать полученные результаты.
4. Разработать рекомендации по достижению величин НДС.
5. Все промежуточные расчеты оформляются под таблицей.

Вариант 1. Планируется сбрасывать в водоток сточные воды промышленного предприятия с максимальным расходом $q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Ниже по течению от планируемого берегового выпуска сточных вод, на расстоянии 2,0 км находится поселок, использующий воду водотока для купания и отдыха. Водоток, по данным Росгидромета, характеризуется на этом участке следующими показателями:

- среднемесячный расход водотока 95%-й обеспеченности $Q = 47 \text{ м}^3/\text{с}$;
- средняя глубина 2,3 м;
- средняя скорость течения 1,8 м/с;
- извилистость русла слабо выражена, коэффициент извилистости – 1,0.

Определить необходимые условия сброса сточных вод в водный объект, а также необходимую степень очистки сточных вод. Выпуск сточных вод – береговой, продолжительность пробега воды от места выпуска до контрольного створа – 0,3 сут.

Гидрохимические данные водоема выше сброса сточных вод и состав сточных вод в месте выпуска в водоток (г/м³)

Показатели свойства вод	ЛПВ	Фон	Сточные воды	ПДК
N-NO ₂ ⁻	Токс.	0,04	0,1	0,02
Аммоний солевой (NH ₄ ⁺)	Токс.	0,6	1,8	0,5
Железо общее (Fe _{обт})	Токс.	0,2	0,6	0,1
БПК _{полн.}	Общ.	2,7	16	3,0
СПАВ	Сан.-токс.	0,01	2,4	0,5

Коэффициент неконсервативности для N-NO₂⁻ - 10,8

Коэффициент неконсервативности для N-NH₄⁺ - 2,7

Коэффициент неконсервативности для Fe – 1,0

Форма отчетности

Заполненная таблица с расчетами в лабораторной тетради, устное собеседование, тестирование.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое НДС?
2. Для каких целей рассчитывают НДС?

Лабораторная работа № 11. Расчет размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства

Цель работы – получить навык расчета размера вреда причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства.

Приборы и материалы

Типовые задачи по определению вреда причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства (выдает преподаватель).

Общие сведения

Методика разработана в соответствии с Водным кодексом Российской Федерации от 3 июня 2006 г. и предназначена для исчисления размера вреда, причиненного водным объектам в результате нарушений требований водного законодательства Российской Федерации, приводящих или приведших к их загрязнению засорению и/или истощению.

Методика применяется в случаях:

- причинения вреда водному объекту, повлекшему за собой загрязнение и (или) засорение водных объектов,

- нарушения правил эксплуатации водохозяйственных сооружений и устройств, повлекших за собой аварийный сброс вредных (загрязняющих) веществ в водный объект, а также при авариях на предприятиях, транспорте и других объектах, включая аварийные разливы нефти.

Методикой учитываются следующие основные виды причинения вреда:

- загрязнение водных объектов вредными (загрязняющими) веществами, сбрасываемыми в составе сточных, в том числе неорганизованных, вод и поступающими иным способом;

- загрязнение водных объектов в результате аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и иных вредных веществ;

- загрязнение водных объектов в результате сброса хозяйственно-фекальных и льяльных сточных вод с судов, а также иных плавучих и стационарных объектов и сооружений;

- засорение акватории, дна и берегов водного объекта бытовыми и производственными отходами, в том числе затопленными судами и иными крупными предметами, брошенными их владельцами;

- засорение акватории, дна и берегов водного объекта при осуществлении запрещенного молевого сплава древесины и лесосплава без судовой тяги.

Исчисление размера вреда, причиненного водным объектам, осуществляется при выявлении фактов нарушения водного законодательства, наступление которых устанавливается по результатам государственного контроля и надзора в области использования и охраны водных объектов, на основании натурных обследований, инструментальных определений, измерений и лабораторных анализов.

Исчисление размера вреда основывается на компенсационном принципе оценки и возмещения размера вреда по величине затрат, необходимых для фиксации и устранения причин факта загрязнения, в том числе затрат, связанных с разработкой проектно-сметной документации, и затрат, связанных с ликвидацией допущенного нарушения и восстановлением показателей состояния водного объекта до допущенного нарушения, а также для устранения последствий нарушения.

Порядок исчисления размера вреда

Исчисление размера вреда, причиненного водному объекту сбросом вредных (загрязняющих) веществ в составе сточных вод, производится по формуле:

$$Y = K_{\text{вг}} \cdot K_{\text{дл}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{из}}, \quad \text{Формула 55}$$

где: Y - размер вреда, тыс. руб.;

$K_{\text{вг}}$ - коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, определяется в соответствии с табл. 30.

Таблица 30 – Коэффициент, учитывающий время года причинения вреда ($K_{\text{вг}}$)

№ п/п	Месяцы	Коэффициент <*>, $K_{\text{вг}}$
1	Декабрь, январь, февраль	1,15
2	Март, апрель, май	1,25
3	Июнь, июль, август	1,10
4	Сентябрь, октябрь, ноябрь	1,15
<*> При половодьях и паводках принимается коэффициент 1,05.		

$K_{\text{дл}}$ - коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации определяется в соответствии с таблицей 31:

Таблица 31 – Коэффициенты, учитывающие длительность воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации ($K_{\text{дл}}$)

Время непринятия мер по ликвидации загрязнений <*>, час	Значение коэффициента, $K_{\text{дл}}$	Время непринятия мер по ликвидации загрязнений, час	Значение коэффициента, $K_{\text{дл}}$	Время непринятия мер по ликвидации загрязнений, час	Значение коэффициента, $K_{\text{дл}}$
До 6 включительно	1,1	от 85 до 96	2,1	от 205 до 216	3,1
Более 6 до 12 включительно	1,2	от 97 до 108	2,2	от 217 до 228	3,2
от 13 до 18	1,3	от 109 до 120	2,3	от 229 до 240	3,3
от 19 до 24	1,4	от 121 до 132	2,4	от 241 до 250	3,5
от 25 до 30	1,5	от 133 до 144	2,5	от 251 до 300	3,6

от 31 до 36	1,6	от 145 до 156	2,6	от 301 до 400	3,7
от 37 до 48	1,7	от 157 до 168	2,7	от 401 до 500	4,0
от 49 до 60	1,8	от 169 до 180	2,8	Более 500	5,0
от 61 до 72	1,9	от 181 до 192	2,9	<*> Время непринятия мер по ликвидации загрязнения водного объекта рассчитывается как разница между временем начала ликвидации загрязнения и временем окончания сброса вредных (загрязняющих веществ).	
от 73 до 84	2,0	от 193 до 204	3,0		

K_B - коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), определяется в соответствии с таблицей 32:

Таблица 32 – Коэффициенты, учитывающие экологические факторы (состояние водных объектов)

№ п/п	Наименование водных объектов (бассейны рек, озер и морей)	Коэффициент, K_B
1	Нева	1,51
2	Неман	1,21
3	Реки бассейнов Ладожского и Онежского озер и озера Ильмень и указанные озера	2,10
4	Прочие реки бассейна Балтийского моря	1,18
...	...	...
33	Балтийское, Белое, Баренцево, Японское до 10 км (от береговой линии)	1,05
	более 10 км	0,95
	более 10 км	0,85

$K_{ин}$ - коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

Коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития, принимается на уровне интегрального индекса-дефлятора по отношению к рассматриваемому году, который на соответствующий год определяется как произведение индексов-дефляторов по годам, устанавливаемых решением органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации по строке "инвестиции (капитальные вложения) за счет всех источников финансирования" (1,672).

M_i - масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества, определяется по каждому ингредиенту загрязнения;

H_i - таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты определяются в соответствии с таблицей 33:

Таблица 33 – Таксы для исчисления размера вреда от загрязнения водных объектов органическими и неорганическими вредными (загрязняющими) веществами (H_i)

№ п/п	Вещества с ПДК _{р/х} в интервале	H_i , тыс. руб./т
1	Более 40 мг/л	6
2	5,0 - 39,9 мг/л	12
3	2,0 - 4,9 мг/л	170
4	0,2 - 1,9 мг/л	280
5	0,06 - 0,19 мг/л	510
6	0,02 - 0,05 мг/л	670

7	0,006 - 0,019 мг/л	4350
8	0,003 - 0,005 мг/л	4800
9	0,001 - 0,002 мг/л	12100
10	Менее 0,001 мг/л	196000
11	Взвешенные вещества	45

$K_{из}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект. $K_{из}$ устанавливается в зависимости от превышения фактической концентрации вредного (загрязняющего) вещества при сбросе над установленной ПДК_{р/х} для него и принимается в размере:

- равном 1 при превышениях более 1 и до 10 ПДК_{р/х};
- равном 5 при превышениях более 10 и до 50 ПДК_{р/х};
- равном 10 при превышениях более 50 ПДК_{р/х}.

Исчисление размера вреда, причиненного водным объектам вредными (загрязняющими) веществами, для которых отсутствуют нормативы ПДК_{р/х}, производится с учетом следующих условий.

- Для вредных (загрязняющих) веществ (1 - 3 класса опасности), нормативы ПДК_{р/х} которых определены в соответствующих нормативных документах словом "отсутствие" в связи с их повышенной опасностью и запрещением поступления в водные объекты, к таковым для исчисления размера вреда, определяемым в соответствии с табл. 33 для вредных (загрязняющих) веществ с ПДК_{р/х} менее 0,001 мг/л, применяется коэффициент $K_{из}$, равный 10.

- По вредным (загрязняющим) веществам, нормативы ПДК_{р/х} которых в связи с их неразработанностью определены в соответствующих нормативных документах словом "отсутствие", таксы для исчисления размера вреда определяются в соответствии с таблицей 33 на уровне вредного (загрязняющего) вещества, являющегося химическим аналогом и входящим в группу вредных (загрязняющих) веществ того же класса опасности.

В случаях загрязнения водных объектов аварийными поступлениями органических и неорганических веществ, детергентов, пестицидов и нефтепродуктов, исключая их поступление в составе сточных вод, исчисление размера вреда производится по формуле:

$$Y = K_{вг} \cdot K_{дл} \cdot K_{в} \cdot K_{ин} \cdot H_i, \quad \text{Формула 56}$$

где: Y - размер вреда, млн. руб.;

H_i - такса для исчисления размера вреда от сброса i -го вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты определяется в соответствии с таблицами 34-35, млн. руб.

Таблица 34 – Таксы для исчисления размера вреда от загрязнения водных объектов при сбросах и поступлении иными способами органических веществ (Н_{БПК})

М _{БПК} , т	Н _{БПК} , млн. руб.	М _{БПК} , т	Н _{БПК} , млн. руб.	М _{БПК} , т	Н _{БПК} , млн. руб.
0,1 - 0,2	0,34 - 0,44	6 - 9	7 - 10	250 - 350	235 - 322
0,25 - 0,4	0,5 - 0,68	10 - 13	11,4 - 14,6	400 - 600	366 - 536
0,5 - 0,9	0,8 - 1,2	16 - 25	18 - 27	650 - 800	578 - 703
1 - 1,6	1,4 - 2,2	30 - 40	32 - 42	900 - 1300	785 - 1110

2 - 3	2,6 - 3,6	50 - 90	52 - 90	1500 - 2500	1310 - 2054
3,5 - 5,5	4,2 - 5,8	100 - 200	100 - 190	3000 - 5000	2440 - 3940

Примечание. Для определения промежуточных значений $N_{БПК}$, не вошедших в таблицу, применяется интерполяция между ближайшими значениями $N_{БПК}$. При значениях $M_{БПК} < 0,10$ т величину $N_{БПК}$ следует определять по формуле:

$$N_{БПК} = 3,4(\text{млн.руб./т}) \cdot M_{БПК}, \text{ т}$$

При значениях $M_{БПК} > 5000$ т величину $N_{БПК}$ следует определять по формуле:

$$N_{БПК} = 0,8(\text{млн.руб./т}) \cdot M_{БПК}$$

Таблица 35 – Таксы для исчисления размера вреда от загрязнения водных объектов при сбросах и поступлении иными способами нефтепродуктов (N_H)

M_H , т	N_H , млн. руб.	M_H , т	N_H , млн. руб.	M_H , т	N_H , млн. руб.
0,1 - 0,2	0,5 - 0,6	10 - 16	7 - 11	400 - 550	258 - 349
0,25 - 0,4	0,7 - 1,0	20 - 30	14 - 22	600 - 750	381 - 464
0,5 - 0,9	1,2 - 1,4	35 - 40	25 - 28	800 - 1100	500 - 574
1 - 2	1,9 - 2,3	50 - 75	34 - 52	1300 - 1800	672 - 840
2,5 - 4	2,7 - 3,7	90 - 130	62 - 84	2000 - 3000	896 - 1344
5 - 9	4,4 - 6,1	160 - 350	104 - 229	3500 - 5000	1624 - 2016

Примечание. Для определения промежуточных значений N_H , не вошедших в таблицу, рекомендуется применять интерполяцию между ближайшими значениями N_H .

При значениях $M_H < 0,10$ т величину N_H следует определять по формуле:

$$N_H = 3,5(\text{млн.руб./т}) \cdot M_H, \text{ т}$$

При значениях $M_H > 5000$ т величину N_H следует определять по формуле:

$$N_H = 0,4(\text{млн.руб./т}) \cdot M_H, \text{ т}$$

В случае своевременного принятия мер по ликвидации последствий воздействия сброса вредных (загрязняющих) веществ на водный объект размер вреда, уменьшается на величину фактических затрат на его устранение, которые произведены виновником причинения вреда.

Кроме того, определяется ущерб при следующих воздействиях на водные объекты:

- сбросе хозяйственно-фекальных сточных вод с судов и иных плавучих и стационарных объектов и сооружений

- загрязнении (засорении) водных объектов мусором, бытовыми и производственными отходами, в том числе с судов и иных плавучих и стационарных объектов и сооружений

- загрязнении брошенными, в том числе полузатопленными и затопленными, судами и иными плавучими средствами и крупными предметами,

- осуществлении запрещенного молевого сплава древесины и сплава древесины без судовой тяги

- загрязнении взвешенными веществами при проведении дноуглубительных работ, при добыче полезных ископаемых, сапропеля со дна водных объектов, проведении буровых, строительных и иных работ, в том числе с нарушением условий документов, на основании которых возникает право пользования водными объектами, а также при аварийном разрушении берегозащитных сооружений, плотин, дамбы и других гидротехнических сооружений

- при частичном или полном истощении водных объектов в результате забора воды с нарушением лимитов водопользования (забор воды из водного объекта с дефицитом водных ресурсов более чем в 2 раза превышающий лимит, установленный федеральным органом исполнительной власти в области управления использованием и охраной водного фонда), самовольного водопользования или самовольного производства гидротехнических работ, нарушающих условия водопользования иных водопользователей

-использовании водного объекта для добычи строительных материалов (песок, гравий, глина) с нарушением условий водопользования или без наличия документов, на основании которых возникает право пользования водными объектами

Масса сброшенного вредного (загрязняющего) вещества в составе сточных вод при наличии документов, на основании которых возникает право пользования водными объектами, определяется по формуле:

$$M_i = Q \cdot (C_{\Phi i} - C_{\text{дi}}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad \text{Формула 57}$$

где: M_i - масса сброшенного i -го вредного (загрязняющего) вещества, т;

i - загрязняющее вещество, по которому исчисляется размер вреда;

Q - расход сточных вод с превышением содержания i -го вредного (загрязняющего) вещества определяется по приборам учета, а при их отсутствии - расчетным путем в соответствии с документами, на основании которых возникает право пользования водными объектами, и иными документами, регламентирующими порядок расчета объема сброса сточных вод, $\text{м}^3/\text{час}$;

C_{Φ} - средняя фактическая за период сброса концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в сточных водах, определяемая по результатам анализов аттестованной и (или) аккредитованной лаборатории как средняя арифметическая из общего количества результатов анализов за период времени T , мг/л ;

$C_{\text{д}}$ - концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества, исходя из которой установлен предельно допустимый или временно согласованный норматив (лимит) сброса, мг/л ;

T - продолжительность сброса сточных вод с повышенным содержанием вредных (загрязняющих) веществ, определяемая с момента обнаружения сброса до его прекращения, час;

10^{-6} - коэффициент пересчета массы вредного (загрязняющего) вещества из мг/л в т/м^3 .

При отсутствии данных о фактическом объеме сброшенных сточных вод это количество может быть приравнено к объему воды, потребляемому предприятием для хозяйственно-бытовых нужд за период, равный периоду сброса сточных вод с повышенными концентрациями вредных (загрязняющих) веществ.

Продолжительность сброса вредных (загрязняющих) веществ при нарушении водного законодательства, в том числе при аварийных сбросах, определяется с момента его обнаружения и до момента окончания сброса.

В случае если организация, осуществляющая сброс вредных (загрязняющих) веществ с повышенными концентрациями, извещает контролирующие органы о его наличии, то период продолжительности сброса определяется с момента извещения.

За момент окончания сброса принимается дата регистрации в органе исполнительной власти, осуществляющем федеральный и (или) региональный государственный контроль и надзор за использованием и охраной водных ресурсов, отчета об устранении нарушений, приведших к нанесению вреда, с представлением результатов аналитического исследования водного объекта.

При запрещенном (несанкционированном) и (или) аварийном сбросе вредных (загрязняющих) веществ в водные объекты при исчислении размера вреда учитывается вся их масса и в формуле N 3 концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества (C_d) принимается равной 0.

Масса нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ, попавших в водный объект, за исключением их сбросов в составе сточных вод, может быть определена несколькими способами:

- по результатам инструментальных измерений массы нефти на единице площади и концентрации растворенных или находящихся во взвешенном состоянии под слоем воды разлива нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ;

- по площади разлива, определенной с помощью инструментальных методов или на основании экспертных оценок площади разлива;

- по количеству нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ, собранных нефтемусоросборными или другими средствами при ликвидации разлива нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ;

- и др. способами.

В случае, если определение массы сброшенной нефти произведено несколькими способами, дающими разные результаты, в расчет включается средняя арифметическая величина.

Масса нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ, поступивших в водный объект, рассчитанная методом инструментальных замеров, определяется по формуле:

$$M_H = M_{HP} + M_{PH}, \quad \text{Формула 58}$$

где: M_H - масса нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ, поступивших в водный объект, т;

M_{HP} - масса пленочной нефти, т;

M_{PH} - масса растворенных и эмульгированных в водном объекте нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ, т.

Масса пленочной нефти определяется по формуле:

$$M_{HP} = \gamma M_H \cdot S \cdot 10^{-6}, \quad \text{Формула 59}$$

где: UM_H - масса пленочной нефти на 1 м поверхности воды, г/м;
 S - площадь поверхности воды, покрытая разлитой нефтью, м²;
 10^{-6} - коэффициент пересчета массы вредных (загрязняющих) веществ из мг/л в т/м³.

Масса растворенных в водном объекте нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ определяется по формуле:

$$M_{PH} = C_{PH} \cdot V \cdot 10^{-6}, \quad \text{Формула 60}$$

где: C_{PH} - концентрация растворенных в водном объекте нефти, нефтепродуктов и других вредных (загрязняющих) веществ под слоем разлива на глубине до 1 м, г/м³;

V - объем воды, загрязненной растворенными нефтью, нефтепродуктами и другими вредными (загрязняющими) веществами, м³, определяется по формуле:

$$V = h \cdot S$$

где: h - глубина воды, загрязненной растворенными нефтью, нефтепродуктами и другими вредными (загрязняющими) веществами, определенная на основании протоколов лабораторных исследований, м.

Ход работы.

1. Разобрать на занятии примеры расчета вреда.
2. Получить варианты заданий для расчетов.
3. Выписать необходимые для расчетов сведения из таблиц.
4. Выполнить расчеты размера вреда, подготовиться к тесту.

Примеры расчета вреда.

Пример 1. На территории города Москвы в мае 2007 г. предприятие произвело сброс сточных вод в р. Москву с превышением предельно допустимых концентраций вредных (загрязняющих) веществ. Меры по ликвидации загрязнения не принимались. Расход сброса сточных вод составил 10 м³ в час. Продолжительность сброса - 9 часов.

Масса вредных (загрязняющих) веществ определяется по формуле:

$$M_i = Q \cdot (C_{\Phi i} - C_{Д i}) \cdot T \cdot 10^{-6}$$

где: $Q = 10$ м³/ч;

C_{Φ} - концентрация вредных (загрязняющих) веществ в сточных водах, в том числе:

- по взвешенным веществам = 15,6 мг/л;
- по азоту аммонийному = 2,32 мг/л;
- по азоту нитритному = 0,582 мг/л, что превышает нормативы ПДК в 29 раз;
- по нефти = 4,4 мг/л, что превышает нормативы ПДК в 88 раз;
- по железу = 1,09 мг/л, что превышает нормативы ПДК в 10,9 раз;

$C_{Д i}$ - концентрация i -го вредного (загрязняющего) вещества в водоприемнике, исходя из которой предприятию установлен разрешенный сброс, в том числе:

- по взвешенным веществам = 10,0 мг/л;
- по азоту аммонийному = 0,39 мг/л;
- по азоту нитритному = 0,02 мг/л;
- по нефти = 0,05 мг/л;
- по железу = 0,1 мг/л;

Масса сброшенных вредных (загрязняющих) веществ составляет:

- по взвешенным веществам:

$$M_{\text{ВЗВ}} = 10 \text{ м}^3 \times (15,6 \text{ мг/л} - 10,0 \text{ мг/л}) \times 9 \text{ ч} \times 10^{-6} = 0,0005 \text{ т}$$

-по азоту аммонийному:

$$M_{\text{азам}} = 10 \text{ м}^3 \times (2,32 \text{ мг/л} - 0,39 \text{ мг/л}) \times 9 \text{ ч} \times 10^{-6} = 0,00017 \text{ т}$$

-по азоту нитритному

$$M_{\text{азнит}} = 10 \text{ м}^3 \times (0,582 \text{ мг/л} - 0,02 \text{ мг/л}) \times 9 \text{ ч} \times 10^{-6} = 0,00005 \text{ т}$$

-по нефти

$$M_{\text{нефть}} = 10 \text{ м}^3 \times (4,4 \text{ мг/л} - 0,05 \text{ мг/л}) \times 9 \text{ ч} \times 10^{-6} = 0,0004 \text{ т}$$

-по железу

$$M_{\text{желез}} = 10 \text{ м}^3 \times (1,09 \text{ мг/л} - 0,1 \text{ мг/л}) \times 9 \text{ ч} \times 10^{-6} = 0,00009 \text{ т}$$

Размер вреда определяется по формуле N 1:

$$Y = K_{\text{ВГ}} \cdot K_{\text{ДЛ}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{ИН}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{ИЗ}}$$

где: H_i - такса для исчисления размера вреда от загрязнения водных объектов вредными (загрязняющими) веществами принимается в соответствии с таблицей 33, в том числе:

-по взвешенным веществам = 45 тыс. руб.;

-по азоту аммонийному = 280 тыс. руб.;

-по азоту нитритному = 670 тыс. руб.;

-по нефти = 670 тыс. руб.;

-по железу = 510 тыс. руб.;

$K_{\text{ВГ}}$ - определяется в соответствии с таблицей и равен 1,25;

$K_{\text{ДЛ}}$ - определяется в соответствии с таблицей и равен 5;

$K_{\text{В}}$ - определяется в соответствии с таблицей и равен 1,41;

$K_{\text{ИН}}$ - равен 1;

$K_{\text{ИЗ}}$ - определяется в соответствии с методикой.

Размер вреда составляет:

-по взвешенным веществам: $0,0005 \text{ т} \times 45 \times 1,25 \times 5 \times 1,41 \times 1 \times 1 = 0,198 \text{ тыс. руб.}$

-по азоту аммонийному: $0,00017 \text{ т} \times 280 \times 1,25 \times 5 \times 1,41 \times 1 \times 1 = 0,42 \text{ тыс. руб.}$

-по азоту нитритному: $0,00005 \text{ т} \times 670 \times 1,25 \times 5 \times 1,41 \times 1 \times 5^* = 1,476 \text{ тыс. руб.}$

(*) - в соответствии с методикой в случае, если превышение фактической концентрации сброшенных в водный объект вредных (загрязняющих) веществ составляет от 10 до 50 ПДК (ОБУВ), применяется повышающий коэффициент ($K_{\text{ИЗ}}$), равный 10.

-по нефти: $0,0004 \text{ т} \times 670 \times 1,25 \times 5 \times 1,41 \times 1 \times 10^* = 23,62 \text{ тыс. руб.}$

(*) – Если фактическая концентрация сброшенных в водный объект вредных (загрязняющих) веществ превышает 50 ПДК (ОБУВ), применяется повышающий коэффициент ($K_{\text{ИЗ}}$), равный 10.

-по железу: $0,00009 \text{ т} \times 510 \times 1,25 \times 5 \times 1,41 \times 1 \times 5^* = 2,022 \text{ тыс. руб.}$

(*) – Если превышение фактической концентрации сброшенных в водный объект вредных (загрязняющих) веществ составляет от 10 до 50 ПДК (ОБУВ), применяется повышающий коэффициент ($K_{\text{ИЗ}}$), равный 5.

Общий размер вреда составляет:

$$Y = 0,198 + 0,42 + 1,476 + 23,62 + 2,022 = 27,736 \text{ тыс. руб.}$$

Пример 2. В результате аварийного разлива в январе 2007 г. нефтепродуктов на реке Амур (Хабаровский край) наблюдается нефтяная пленка площадью 195 м^2 . Меры по ликвидации разлива нефтепродуктов стали приниматься через 20 часов. По лабораторным исследованиям определено: удельная масса пленочной нефти на 1 м^2 поверхности воды равна 465 г/м^2 , что превышает нормативы ПДК более чем в 50 раз; концентрация растворенной в водном объекте нефти под слоем разлива равна $13,7 \text{ мг/л}$.

Масса пленочной нефти в данном случае определяется по формуле:

$$M_{\text{НП}} = \text{УМ}_\text{Н} \cdot S \cdot 10^{-6}$$

где: $\text{УМ}_\text{Н}$ - масса пленочной нефти на 1 м² поверхности воды, определена в результате лабораторных исследований и равна 465 г/м²;

S - площадь поверхности воды, покрытая разлитой нефтью, равна 195 м².

$$M_{\text{НП}} = 465 \text{ г/м}^2 \times 195 \text{ м}^2 \times 10^{-6} = 0,09 \text{ т}$$

Масса растворенной в водном объекте нефти определяется по формуле:

$$M_{\text{РН}} = C_{\text{РН}} \cdot V \cdot 10^{-6}$$

где: $C_{\text{РН}}$ - концентрация растворенной в водном объекте нефти под слоем разлива, определена в результате лабораторных анализов и равна 13,7 мг/л.

Глубина отбора проб составляет 0,3 м, таким образом, по формуле:

$$V = h \cdot S$$

$$V = h \times S = 0,3 \text{ м} \times 195 \text{ м}^2 = 58,5 \text{ м}^3$$

Масса растворенной в водном объекте нефти составит:

$$M_{\text{РН}} = 13,7 \text{ мг/л} \times 58,5 \text{ м}^3 \times 10^{-6} = 0,0008 \text{ т}$$

Таким образом, вся масса сброшенных нефтепродуктов равна:

$$0,09 \text{ т} + 0,0008 \text{ т} = 0,091 \text{ т}$$

Размер вреда от загрязнения водного объекта нефтью определяется по формуле:

$$Y = K_{\text{ВГ}} \cdot K_{\text{ДЛ}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{ИН}} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{ИЗ}}$$

где: M_i - масса сброшенных вредных (загрязняющих) веществ (нефти), равна 0,091 т;

H_i - такса для исчисления размера вреда от сброса вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты определяется в соответствии с таблицей и равна 670 тыс. руб.;

$K_{\text{ВГ}}$ - определяется в соответствии с таблицей и составляет 1,15;

$K_{\text{ДЛ}}$ - определяется в соответствии с таблицей и составляет 1,4;

$K_{\text{В}}$ - определяется в соответствии с таблицей и составляет 1,27;

$K_{\text{ИН}}$ - равен 1;

$K_{\text{ИЗ}}$ - поскольку из концентрации пленочной нефти и растворенной нефти превышают ПДК (0,05 мг/л) более чем в 50 раз, то принимается коэффициент, равный 10.

Таким образом, размер вреда составляет:

$$Y = 0,091 \times 670 \times 1,15 \times 1,4 \times 1,27 \times 1 \times 10 = 1246,65 \text{ тыс. руб.}$$

Пример 3. На реке Днепр потерпело аварию судно и произошла утечка 1,5 тонны топлива, поступление которого в водный объект было прекращено в 00 ч. 30 мин. 5 мая 2007 г. Меры по ликвидации загрязнения начали осуществляться в 8 ч. 00 мин. 5 мая.

Размер вреда определяется по формуле:

$$Y = K_{\text{ВГ}} \cdot K_{\text{ДЛ}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{ИН}} \cdot H_i$$

где: H_i - такса для исчисления размера вреда от загрязнения водного объекта нефтепродуктами принимается в соответствии с таблицей 6 приложения 1 к Методике и равна 2,1 млн. руб.;

$K_{\text{ВГ}}$ - определяется в соответствии с таблицей и равен 1,25;

$K_{\text{ДЛ}}$ - определяется в соответствии с таблицей и при времени непринятия мер по ликвидации загрязнения 7 часов 30 мин. равен 1,2;

$K_{\text{В}}$ - определяется в соответствии с таблицей 3 и равен 1,33;

$K_{\text{ИН}}$ - равен 1;

Размер вреда составляет: $Y = 2,1 \times 1,25 \times 1,2 \times 1,33 \times 1 = 4,19 \text{ млн. руб.}$

Форма отчетности

Выполненные расчеты должны быть оформлены аккуратно в тетради по лабораторным занятиям и сданы на подпись преподавателю.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего необходимо рассчитывать размер вреда водным объектам от хозяйственной деятельности?

2. Назовите основные принципы методики расчета вреда причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства.

Литература

1. Берникова Т. А. Гидрология с основами метеорологии и климатологии. М.: МОРКНИГА, 2011. - 602 с.
2. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. [Электронный ресурс].
3. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 351с.
4. Гавич И.К., Лучшева А.А., Семенова-Ерофеева С.М. Сборник задач по общей гидрогеологии: Учеб. пособие для вузов – М.: Недра, 1985. – 412 с.
5. Географический атлас Калининградской области / Гл. редактор Орленок В. В. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002.–276 с.
6. Гидрология: учебник для вузов / Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. – 2-е, 3-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2007, 2008. – 463 с.
7. Государственный водный кадастр (Справочное издание). Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - т.1, вып.4 - 88с.
8. Домнин Д. А., Чубаренко Б. В. Атлас речных трансграничных бассейнов Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2007. – 38 с.
9. Калининградская область. Очерки природы. - Калининград: Янтар. сказ, 1999 –150с.
10. Калининградская область: Очерки природы. - Калининград: Янтар. сказ, 1999. – 229 с.
11. Коновалова В.А. Нормирование качества окружающей среды: учебное пособие / В.А. Коновалова – М.: РГУИТП, 2011. – с. 158.
12. Литвин В.М. и др. Калининградская область. Природные ресурсы. - Калининград: Янтар. сказ, 1999 –189с.
13. Лучшева А.А., Чаповской А.Е. Сборник задач и руководство к практическим занятиям по основам гидравлики и гидрометрии. – М.: Недра, 1990. – 171 с.
14. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений / А. В. Рождественский, под ред. — Санкт-Петербург, Нестор-история, 2009. 194 с.
15. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. — Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. — 133 с.
16. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных наблюдений. — С.-Петербург: Ротапринт ГНЦ ААНИИ, 2007. — 66 с.
17. Об экологической обстановке в Калининградской области / Ежегодные доклады Правительства Калининградской области
18. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Гидрометеиздат, Л., 446 с., 1984 г.

19. Приказ Минприроды России от 13.04.2009 N 87 (ред. от 26.08.2015) "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства" (Зарегистрировано в Минюсте России 25.05.2009 N 13989).

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

21. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293831/4293831806.htm> (дата обращения: 01.06.2023).

22. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. — Гидрометеиздат, 1979. — 64 с.

23. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 78 с.

24. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. В. Е. Водогрецкого – Т. 4, вып. 3. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 506 с.

25. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат. 1973. – 112 с.

26. Свод правил СП 33-101-2003 (взамен СНиП 2.01.14-83). Определение основных расчетных гидрологических характеристик, М.: ГП ЦПП, 2004. 70 с.

27. Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. Издание второе переработанное и дополненное. — Ленинград. Гидрометеорологическое издательство. 1970., 308 с.

Локальный электронный методический материал

Надежда Николаевна Цветкова

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 6,1. Печ. л. 5,3.

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