

И. В. ГЛАЗУНОВА  
С. А. СОКОЛОВА  
Т. И. МАТВЕЕВА  
В. Н. МАРКИН  
А. М. БАКШТАНИН

# **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ДЛИНЕ РЕКИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Рекомендуется научно-методическим советом  
по Природообустройству и водопользованию для использования  
в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров  
по направлениям 20.03.02 и 20.04.03  
«Природообустройство и водопользование»*

Москва  
ООО «Мегаполис»  
2021

УДК 502.51:504.5:502.175(075.8)

ББК 20.1

Г 525

**Рецензенты:**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова **Н. П. Карпенко**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий ФГБНУ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова **В. М. Яшин**

**Глазунова И. В., Соколова С. А., Матвеева Т. И.,**

**Маркин В. Н., Бакштанин А. М.**

Г 525.....Оценка изменения концентраций загрязняющих веществ по длине реки: Учебное пособие / И. В. Глазунова, С. А. Соколова, Т. И. Матвеева, В. Н. Маркин, А. М. Бакштанин / ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. – М. : ООО «Мегаполис», 2021. – 87 с.

ISBN 978-5-6046405-8-6

В учебном пособии рассмотрены основные природные и антропогенные факторы, формирующие качество речных вод. Выявлены источники и объемы их загрязнения, гидрохимический режим водного объекта. Произведена оценка качества воды и эффективности мероприятий для снижения загрязнения рек сточными водами и диффузными стоками. Даны рекомендации по использованию водных ресурсов. Данное пособие позволяет решать оптимизационные вопросы как на основе исходных данных конкретного объекта, так и при задании по вариантам.

Учебное пособие предназначено для выполнения расчетов по оценке воздействия на окружающую среду как при выполнении расчетно-графических и курсовых работ в рамках дисциплины «Природопользование», так и при подготовке соответствующих разделов выпускной квалификационной работы.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование».

*Фотографии на обложке с сайта <https://yandex.ru/images>.*

УДК 502.51:504.5:502.175(075.8)

ББК 20.1

ISBN 978-5-6046405-8-6

© Коллектив авторов, 2021

© ООО «Мегаполис», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Основные положения и понятия.....	8
1.2. Цель и задачи работы.....	18
1.3. Основные понятия природопользования при оценке воздействия на окружающую среду.....	19
1.4. Необходимая исходная информация для выполнения расчетной работы по оценке загрязнения водного объекта.....	28
1.4.1. Данные для выполнения расчетно-графической работы.....	28
1.4.2. Пояснения к выполнению курсовой работы.....	31
1.4.3. Пояснения для выполнения раздела ОВОС в выпускной квалификационной работе.....	34
<b>2. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ БИОГЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ.....</b>	<b>35</b>
2.1. Составление схемы источников загрязнения реки.....	35
2.2. Определение объемов загрязняющих веществ.....	36
2.2.1. Расчет объемов загрязняющих веществ, поступающих с природных угодий.....	36
2.2.2. Расчет объемов выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий.....	37
2.2.3. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами потребителей.....	38
2.3. Расчет объемов стока воды по длине реки с учетом возвратного водопотребления.....	42
2.3.1. Определение естественного стока водного объекта.....	42
2.3.2. Расчет объемов водопотребления.....	43
2.3.3. Определение объемов водопотребления.....	45
2.3.4. Расчет безвозвратного водопотребления.....	46
2.4. Расчет концентраций загрязняющих веществ в речной воде.....	46
2.5. Оценка загрязненности водного объекта.....	47
2.6. Водоохранные мероприятия.....	48
<b>3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ДЛЯ РЕКИ БЕЗ ПРИТОКОВ.....</b>	<b>50</b>
3.1. Составление схемы источников загрязнения.....	51
3.2. Расчет объемов загрязняющих веществ с территории водосбора....	52
3.2.1. Определение объемов азота (фосфора), поступающего с природных объектов.....	52
3.2.2. Расчет объемов выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий.....	53

3.2.3. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами водопотребителей.....	53
3.3. Расчет объемов стока воды по длине реки.....	55
3.3.1. Расчет объемов водопотребления.....	55
3.3.2. Определение объемов водоотведения.....	56
3.3. Расчет возвратного водопотребления.....	56
3.3.4. Определение естественного стока воды.....	56
3.3.5. Расчет изменения объемов азота (фосфора) по длине реки.....	59
3.4. Расчет изменения концентрации азота (фосфора) по длине реки.....	60
3.5. Оценка загрязненности водного объекта.....	61
3.6. Водоохранные мероприятия.....	62
3.7. Определение изменения концентрации азота (фосфора) по длине реки с учетом водоохраннх мероприятий.....	63
<b>4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ДЛЯ РЕКИ С ПРИТОКАМИ.....</b>	<b>65</b>
4.1. Определение объемов загрязняющих веществ.....	66
4.2. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами водопотребителей.....	67
4.3. Расчет объемов стока воды по длине реки.....	67
4.4. Расчет концентрации загрязняющих веществ по длине реки.....	70
4.5. Оценка загрязненности водного объекта.....	72
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>74</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>77</b>
Приложение 1 – Правила оформления работ.....	77
Приложение 2 – Картографические материалы.....	86
Приложение 3 – Титульный лист.....	87

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Природопользование» в системе общеобразовательных дисциплин, формирующих инженерно-экологическое мышление, позволяет применить приобретенные навыки предыдущих лет обучения на практическом уровне.

Полагаем, что знания физики, химии, математики, инженерной гидрогеологии, гидрологии, общей и инженерной экологии, почвоведения и земледелия достаточны для количественной оценки использования водных ресурсов.

Задание знакомит студентов с объемами водопотребления и водоотведения разных отраслей хозяйства, источниками загрязнения природных вод и условиями формирования гидрохимического стока реки, а также с принципами оценки качества водных ресурсов, с применением водоохраных мероприятий и учетом их эффективности.

Данная работа позволит студентам ознакомиться с принципами оценки качества воды в водном объекте, выявлением источников загрязнения, влияющих на формирование гидрохимического стока реки, а также принципами учета эффективности проведения водоохраных мероприятий.

Для оценки качества водных ресурсов необходимо определить объем поступающих в водный объект веществ с природных (лес, луг, болото) угодий, земель подверженных антропогенному воздействию (сельскохозяйственные угодья, селитебные территории) и со стоками, поступающими от водопотребителей (городское и сельское коммунально-бытовое хозяйство, животноводство, промышленные предприятия и т. д.).

Причем, поступление веществ с природных угодий позволяет формировать естественный фон реки, а антропогенное поступление веществ приводит к загрязнению водных объектов.

Исходя из определения загрязнения водного объекта, при загрязнении воды ухудшаются условия обитания водной растительности и животных организмов, что приводит к снижению самоочищающей способности воды, гибели водных организмов, снижению устойчивости водных объектов и деградации водной экосистемы. Кроме того, ухудшаются условия водопользования, что приводит к необходимости дополнительных затрат на водоподготовку, ухудша-

ется санитарное состояние водных объектов. Появляется необходимость управления качеством водных ресурсов путем очистки сточных вод, снижения объемов водопотребления и водоотведения, устройства водоохраных зон, проведения агротехнических мероприятий, направленных на снижение загрязненности диффузных стоков с сельскохозяйственных территорий, очистку дренажного стока с осушаемых земель, деминерализация дренажного стока с орошаемых земель и т. п.

После поступления загрязненных сточных вод в водные объекты они разбавляются, загрязняющие вещества поглощаются водной биотой, сорбируются донным грунтом, осаждаются с твердыми частицами на поверхности донных отложений, органические вещества минерализуются уносятся потоком воды за пределы данного водного объекта. Происходит процесс самоочищения – совокупность всех природных процессов в загрязненных водах, ведущих к восстановлению первоначальных свойств и состава воды [20].

Однако самоочищающая способность водного объекта не безгранична. При временном поступлении большого объема загрязняющих веществ или постоянном поступлении даже незначительных объемов, которые способны изменить химический состав воды происходит гибель биоты (основного фактора самоочищения воды), что вызывает прогрессирующее ухудшение качества водных ресурсов.

Кроме того, поступление в водные объекты биогенных веществ, используемых живыми организмами для питания и построения своего тела, может привести к эвтрофированию воды. Эвтрофирование, вызванное антропогенными факторами, ведет к резкому ухудшению состояния водного объекта. На процесс эвтрофирования наибольшее влияние оказывают такие вещества как фосфор и азот. Связано это с тем, что они влияют на развитие биомассы водной растительности и активность течения энергетических процессов.

В своем развитии водные объекты проходят различные стадии, которые характеризуются изменением содержания биогенов в воде.

Различают следующие стадии развития: олиготрофную, мезотрофную, эвтрофную и дистрофную. Каждая стадия характеризуется изменением биомассы биоты, концентрациями биогенов, прозрачностью, цветом воды и т. д. Кроме того, вода водного объекта на различных стадиях развития характеризуется ограничениями в условиях ее использования.

Сказанное приводит к необходимости оценки влияния сточных вод на водные объекты, для чего надо уметь определять изменение концентраций загрязняющих веществ по длине водного объекта, сравнения их с экологическими и санитарно-гигиеническими предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) выявлять наиболее опасные источники загрязнения и обосновывать необходимость проведения водоохранных мероприятий.

# 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

## 1.1. Основные положения и понятия

**Качество воды** – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

**Загрязняющее вещество** – (также поллютанты) – любое химическое вещество или соединение, которое находится в объекте окружающей природной среды в количествах, превышающих фоновые значения и вызывающее тем самым химическое загрязнение.

По происхождению загрязняющие вещества делятся на:

- **загрязняющие вещества природного происхождения** – попадающие в природную среду в результате естественных, обычно катастрофических процессов (пример – загрязнение прилегающих территорий пеплом при извержении вулкана);

- **загрязняющие вещества антропогенного происхождения** – по данным ООН, в мире выпускается до 1 млн наименований ранее не существовавшей продукции в год, в том числе до 100 тыс. химических соединений, из которых около 15 тыс. являются потенциальными токсикантами. Считается, что до 80 % всех химических соединений, поступающих во внешнюю среду, рано или поздно попадут в природную воду с промышленными, бытовыми или ливневыми стоками.

**Биогенное вещество** – вещество, представляющее собой остатки отмерших организмов и продукты жизнедеятельности и

линьки живых организмов. Понятие биогенное вещество введено В. И. Вернадским в начале XX века при создании учения о биосфере.

**Биогены** – вещества, необходимые для существования живых организмов и входящие в состав их тел. Так же вещества, возникшие в результате разложения остатков организмов. Биогены, биогенные элементы незаменимые химические элементы, из которых состоит вещество живых организмов – углерод, водород, кислород, азот, сера, фосфор, а также некоторые минеральные вещества [32].

**Процесс самоочищения** – совокупность всех природных процессов в загрязненных водах, позволяющих восстановить первоначальные свойства и качественный состав вод, обеспечивающий воспроизводство водных экосистем [4, 20].

Эвтрофирование – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных или природных факторов [4, 20].

Процесс эвтрофирования лимитируют, главным образом, **азот и фосфор**. Круговорот этих элементов включает взаимопревращения различных их форм, находящихся в водоеме в разных фазах, характеризующихся сложной и нестабильной кинетикой. Определение отдельных форм азота и фосфора методически сложно, что существенно затрудняет изучение их циклов и количественную оценку круговорота в водоемах. Поступление в водоем биогенных соединений зависит от геохимических особенностей и степени хозяйственной освоенности водосборного бассейна водоема. Распределение их в водоеме определяется физическими факторами, а также биологическими процессами потребления и рециклинга [33].

Значительное сокращение поступления в водоем фосфора остается единственной эффективной мерой в борьбе с эвтрофированием [28, 30].

**Олиготрофная стадия развития водных объектов** – содержание биогенных веществ незначительное, вода имеет высокую прозрачность, низкую цветность ... Развитие фитопланктона слабое. Содержание кислорода лишь немного отклоняется от его нормального насыщения.

**Мезотрофная стадия развития водных объектов** – (от ме-зо... и греч. троφή – пища, питание), переходный тип водного объекта со средними трофическими условиями (умеренным количеством питательных веществ) для водных организмов. Занимает про-

межуточное положение между эвтрофными водными объектами и олиготрофными водоемами. Характеризуется прозрачной водой, хорошо развитым планктоном, сравнительно разнообразной донной фауной. Мезотрофные водные объекты распространены преимущественно в условиях умеренных климатических поясов. Типичным примером мезотрофных водных объектов служат водоемы Средне-европейской равнины.

**Эвтрофная стадия развития водных объектов** – характеризуется богатой литоральной и сублиторальной растительностью, обильным количеством планктона. Несбалансированная эвтрофикация может приводить к бурному развитию водорослей (цветение воды) и появлению в воде цианобактерий, которые в период цветения выделяют токсины (алкалоиды и низкомолекулярные пептиды), способные вызвать отравление людей и животных, а также приводит к дефициту кислорода, заморам рыб и животных. Этот процесс можно объяснить малым проникновением солнечных лучей вглубь водоема и, как следствие, отсутствием фотосинтеза у донных растений, а значит и кислорода.

**Дистрофная стадии развития водных объектов** – с нарушенным круговоротом питательных веществ – соединений углерода, азота, фосфора и др. Часто дистрофные водные объекты не имеют притоков из-за малого размера водосбора. Они представляют собой завершающую стадию естественного эволюционного эвтрофирования малых водных объектов в результате заполнения их донными илами и зарастания с берегов высшей водной растительностью, нередко образующей сплавины. Органическое вещество крупной надводной растительности (макрофитов), плохо поддающееся бактериальному разложению, служит материалом для образования торфянистых кислых илов. Поэтому вода в дистрофных водных объектах имеет низкие значения рН и окрашена в темно-коричневый, иногда в темно-красный цвет, который придают ей растворенные гуминовые вещества. Вода бедна минеральными соединениями из-за неполного окисления органического вещества. Вследствие этого экосистема почти лишена фитопланктона, вода прозрачна. Содержание растворенного в воде кислорода невелико, в илах его нет совсем, поэтому в их толще образуются газы, в том числе водород, метан, сероводород, выделяющиеся в воду и придающие ей неприятный вкус и запах. Такие водные объекты или

участки распространены на заболоченных равнинах, в поймах рек, длительно не затоплявавшихся в половодье.

**Источниками загрязнения водных объектов** – являются сброс в них неочищенных или недоочищенных сточных вод, смыв загрязняющих веществ атмосферными осадками, газодымовые выбросы и утечки нефти и нефтепродуктов. Наибольший вред водоемам и водотокам причиняет сброс в них неочищенных сточных вод. Промышленные сточные воды загрязняют экосистемы разнообразными компонентами в зависимости от специфики отраслей промышленности. В коммунально-бытовых сточных водах преобладают различные органические вещества и микроорганизмы, что может вызвать бактериальное загрязнение [4, 9].

К **естественным источникам загрязнения** относятся сильно минерализованные подземные воды (соленые и рассолы) или морские воды, которые могут внедряться в пресные незагрязненные воды при эксплуатации водозаборных сооружений и откачке воды из скважин.

Источники поступления загрязняющих веществ можно разделить на: **сосредоточенные, распределенные (диффузные) и линейные**.

**Сосредоточенный сток** поступает от предприятий, коммунальных служб и, как правило, контролируется по объему и составу соответствующими службами и поддается управлению, в частности путем строительства очистных сооружений.

**Диффузный сток** поступает нерегулярно с застроенных территорий, необорудованных полигонов и свалок, сельскохозяйственных полей и животноводческих ферм, а также с атмосферными осадками. Этот сток, как правило, не контролируется и не регулируется.

Источниками диффузного стока являются также зоны аномального техногенного загрязнения почв, которые систематически «питают» водные объекты опасными веществами. Это также линзы жидких отходов, например, нефтепродуктов, места захоронений твердых отходов, гидроизоляция которых нарушена.

**Линейные источники загрязнения** встречаются в виде стока с поверхности водосбора, выпусков сточных вод через специальное рассеивающее устройство (рассеивающий выпуск).

Управлять потоком загрязняющих веществ от подобных источников практически невозможно, единственный способ – не допускать их формирования [3].

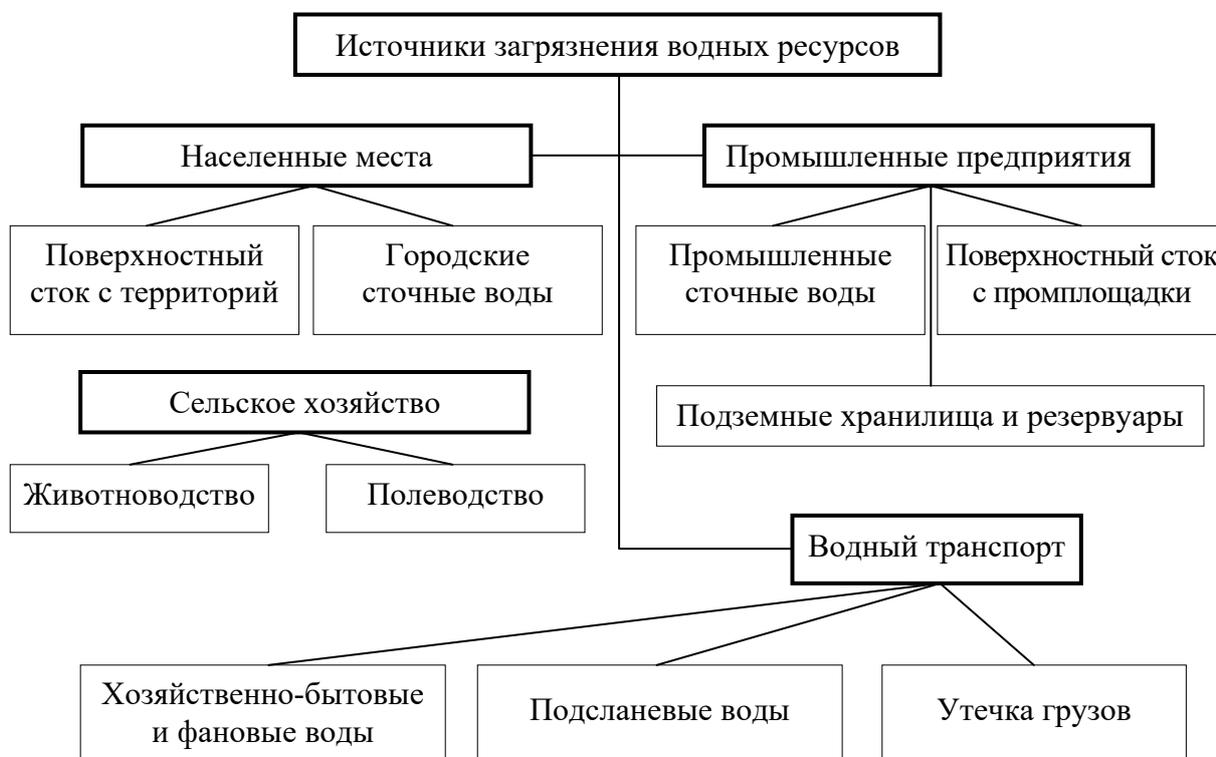


Рисунок 1 – Основные источники загрязнения водных объектов [31]

**Антропогенное загрязнение** – возникает под влиянием деятельности человека (промышленные предприятия, свалки бытовых отходов, теплоэнергетический комплекс, транспорт, животноводческие комплексы, склад химических веществ).

По характеру загрязняющие вещества делятся на:

- **первичные** – поступившие в окружающую среду непосредственно из источников загрязнения;
- **вторичные** – образующиеся из первичных в объектах окружающей среды в результате биогенных и абиогенных трансформаций.

**Водный объект** – природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод, в котором имеются характерные формы и признаки водного режима [3, 4].

Водными объектами являются моря, океаны, реки, озера, болота, водохранилища, подземные воды, а также воды каналов, прудов

и другие места постоянного сосредоточения воды на поверхности суши (например, в виде снежного покрова). Водные объекты составляют основу водных ресурсов. Исследованием водных объектов занимаются многие науки. Для изучения водных объектов и их режима применяются гидрологические методы измерения и анализа. С точки зрения экологии водные объекты представляют собой экологические системы.

Водные объекты в зависимости от особенностей их режима, физико-географических, морфометрических и других особенностей подразделяются на:

- поверхностные водные объекты;
- подземные водные объекты.

К поверхностным водным объектам относятся:

- моря или их отдельные части (проливы, заливы, в том числе бухты, лиманы и другие);
- водотоки (реки, ручьи, каналы);
- водоемы (озера, пруды, обводненные карьеры, водохранилища);
- болота;
- природные выходы подземных вод (родники, гейзеры);
- ледники, снежники.

• Поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии [3]. Водный кодекс

**Фоновая концентрация вещества в воде** учитывает влияние всех источников примесей, за исключением данного источника [12].

**Предельно допустимая концентрация (ПДК) веществ в воде** – это такая концентрация вещества, при превышении которой она становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

**Предельно допустимая концентрация (ПДКв) веществ в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования** – 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 (ПДКвр) веществ в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей** – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых.

Для целей рационального нормирования Министерством природных ресурсов РФ установлены следующие **виды водопользования**:

✓ *хозяйственно-питьевое водопользование*. К хозяйственно-питьевому водопользованию относится использование водных объектов или их участков в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для снабжения предприятий пищевой промышленности. В соответствии с Санитарными правилами и нормами питьевая вода должна быть безопасно в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства [22];

✓ *культурно-бытовое водопользование*. 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;

✓ *рыбохозяйственное водопользование*. Рыбохозяйственное водопользование связано с ловом и разведением рыб и других обитателей водной среды.

ПДК в воде для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКв) устанавливаются с учетом трех показателей вредности:

- санитарно-токсикологического;
- санитарного (общесанитарный);
- органолептического.

ПДК в воде для рыбохозяйственного водопользования (ПДКвр) устанавливаются с учетом пяти показателей вредности:

- санитарно-токсикологического;
- санитарного;

- органолептического;
- токсикологического;
- рыбохозяйственного.

**Санитарно-токсикологический показатель** характеризует вредное воздействие на организм человека.

**Санитарный (общесанитарный) показатель** определяет влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод за счет биохимических и химических реакций с участием естественной микрофлоры.

**Органолептический показатель вредности** характеризует способность вещества изменить органолептические свойства воды.

**Токсикологический показатель** определяет токсичность вредных веществ для живых организмов, населяющих водный объект.

**Рыбохозяйственный показатель вредности** определяет порчу качества промысловых рыб.

При поступлении в водные объекты нескольких веществ с одинаковым ограничивающим признаком вредности и с учетом загрязнителей, поступивших в водные объекты от других источников загрязнения, сумма отношения концентраций  $C_i$  каждого из веществ в водном объекте к соответствующим ПДК не должна превышать единицы, т. е.:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1. \quad (1)$$

В реальных условиях вредное воздействие может оказаться гораздо более пагубным, чем то, которое определено простым суммированием за счет образования новых более токсичных веществ при химических реакциях или за счет усиления эффекта при повышенной температуре.

Наиболее часто для оценки качества водных объектов используют гидрохимический индекс загрязнения воды ИЗВ [4]:

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i / \text{ПДК}_i}{n}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -ого загрязняющего вещества;  $n$  – строго лимитируемое количество показателей, используемых для расчета индекса;  $\text{ПДК}_i$  – предельно-допустимая концентрация  $i$ -ого вещества, установленная для соответствующего типа водного объекта.

Для воды установлены ПДК почти для 1000 веществ. Индекс загрязнения воды обычно рассчитывают по 6-ти – 7-ми показателям, которые можно считать гидрохимическими. Такие показатели как концентрация растворенного кислорода, показатель кислотности рН, биологическое потребление кислорода БПК<sub>5</sub> являются обязательными:

**Загрязнение водного объекта** – это привнесение в воду или образование в ней физических, химических или биологических агентов, неблагоприятно воздействующих на среду жизни или наносящих урон материальным ценностям. Важным последствием загрязнения воды является аккумуляция загрязняющих веществ в донных осадках водоемов. При определенных условиях происходит их выброс в водную массу, вызывая рост загрязненности при видимом отсутствии загрязнения от сточных вод [20].

**Контрольный створ** – это поперечное сечение водного потока, в котором контролируется качество воды. На водном объекте рыбохозяйственного назначения контрольный створ устанавливается в каждом конкретном случае, но не далее 500 м от места сброса сточных вод. При отсутствии у водного объекта особого водоохранного статуса контрольный створ назначается в 1 км от пункта водопользования, на водоемах – в радиусе 1 км. Обоснование выбора контрольного створа – один из наиболее важных вопросов контроля и осуществления водоохранных мероприятий на водном объекте.

**Оценка воздействия на окружающую среду – ОВОС** (EIA, (англ. Environmental Impact Assessment) – термин Международной ассоциации по оценке воздействия на окружающую среду (IAIA, International Association for Impact Assessment). Предназначена для выявления характера, интенсивности и степени опасности влияния любого вида планируемой хозяйственной деятельности на состояние окружающей среды и здоровье населения.

Проведение ОВОС в РФ предусмотрено Статья 32. Проведение оценки воздействия на окружающую среду [26].

Оценка воздействия на окружающую среду проводится в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду, независимо от организационно-правовых форм собственности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей.

ОВОС намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду способствует принятию экологически грамотного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействий.

**Малые реки** – реки короче 100 км (Водогрецкий, 1990). Понятие малые реки нередко применяется ко всем рекам, имеющим только местное значение, и отражает влияние местных физико-географических факторов в масштабе крупного региона. Необходимо отметить, что площадь речных бассейнов менее 2000 км<sup>2</sup> соответствует граничным условиям формирования подземного стока. Как правило, реки с такой площадью дренируют только верхний маломощный водоносный горизонт (воды четвертичных отложений). Этим, по-видимому, и объясняется уязвимость водного режима малой реки при изменении ландшафта ее водосбора. В отличие от больших, водосборные бассейны малых и средних рек располагаются в пределах одной физико-географической зоны. Площадь бассейнов малых рек обычно принадлежит одной климатической зоне и не превышает 2 тыс. км<sup>2</sup>, а средних 50 тыс. км<sup>2</sup>. Интенсивно река живет только в половодье. За 1–3 недели в году проходит 70...80 % стока воды.

**Речной сток** – перемещение воды в виде потока по речному руслу. Происходит под действием гравитации. Является важнейшим элементом круговорота воды в природе, с помощью которого происходит перемещение воды с суши в океаны или области внутреннего стока. Количественное значение стока в единицу времени называется расходом воды. В гидрологии под речным стоком обычно подразумевается объем стока – объем воды (или минеральных веществ, твердый сток), прошедшей через определенный створ в единицу времени, чаще всего год. Объединяет поверхностный сток (образующийся в результате осадков и снеготаяния) и подземный сток, формируемый за счет грунтовых вод. Речной сток за год является объективным показателем для определения полноводности реки.

**Норма стока** – среднее значение величины стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой по-

лученное значение существенно не меняется. Норма стока может быть вычислена путем осреднения годовых величин стока (норма годового стока), стока за половодье (норма стока за половодье), за отдельные месяцы или другие периоды года. Часто термин норма стока применяется для сокращения выражения понятия нормы годового стока. Норма стока выражается в модулях стока, в слое стока и в виде среднего многолетнего расхода воды того периода года, для которого она вычисляется [15].

**Обеспеченность речного стока** – обеспеченность стока это количество лет в процентах от расчетного, в течение которых объем стока реки не ниже расчетного. Так, обеспеченность по стоку  $P = 75 \%$  означает, что в течение 75 лет из 100 требуемый объем стока будет обеспечен.

## 1.2. Цель и задачи работы

Целью работы является оценка антропогенных воздействий на реку по ее длине и рекомендация водоохраных и природоохраных мероприятий по предотвращению или смягчению воздействий антропогенной деятельности на водосборе реки на окружающую среду (в данном случае на рассматриваемый водный объект) и связанных с ней экологических последствий.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1) Составляется расчетная схема поступления загрязняющих веществ в реку. На схеме выделяются расчетные створы.

2) Выполняется определение объемов загрязняющих веществ поступающих в реку на выделенных участках по длине реки.

3) Составляется структура распределения объемов речного стока по длине реки.

4) Проводится расчет концентраций загрязняющих веществ по участкам реки без учета проведения водоохраных мероприятий.

5) Выполняется анализ и оценка стадий развития водного объекта и пригодности воды для использования без учета проведения водоохраных мероприятий.

6) Определяется трофический статус реки соответствие экологического состояния водных объектов классам качества воды.

Рекомендуются водоохранные мероприятия по снижению антропогенной нагрузки на водный объект в соответствии с наилучшими доступными технологиями.

7) Проводится расчет концентраций загрязняющих веществ по участкам реки с учетом эффективности рекомендованных водоохранных мероприятий.

8) Выполняется анализ и оценка стадий развития водного объекта и пригодности воды для использования с учетом эффективности рекомендованных водоохранных мероприятий.

9) Определяется трофический статус реки соответствие экологического состояния водных объектов классам качества воды с учетом эффективности рекомендованных водоохранных мероприятий.

10) Делается вывод о достаточной или недостаточной эффективности водоохранных мероприятий на водосборе реки.

12) Пишется заключение по результатам оценки воздействия на окружающую среду.

### **1.3. Основные понятия природопользования при оценке воздействия на окружающую среду**

**Природопользование** – это использования природных ресурсов, в процессе общественного производства, для целей удовлетворения материальных и культурных потребностей общества.

**Ресурсы** – любые источники и предпосылки получения необходимых людям материальных и духовных благ, которые можно реализовать при существующих технологиях и социально-экономических отношениях.

Ресурсами являются:

- материальные объекты (территории для размещения антропогенных структур и отходов, водные источники, сельскохозяйственные земли, древесина, атмосферный воздух);
- продукты (сельскохозяйственные, промышленные, лесные ягоды, грибы)
- духовные блага, которые человек получает от общения с Природой.

Использование природных ресурсов должно быть рациональным, удовлетворяющим потребности человека и сохраняющим природу.

**Рациональное природопользование** – система деятельности, призванная обеспечить экономию природных ресурсов и условий наиболее эффективного их воспроизводства, с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей.

Природопользование рассматривает вопросы:

- исследования и определение запасов ресурсов;
- классификации ресурсов;
- разработки технологий комплексного их использования;
- мониторинга состояния окружающей среды;
- охраны природы и восстановления нарушенных природных объектов.

У человека своеобразное отношение к природным ресурсам. Если животные только приспосабливаются к окружающему миру, то человек активно приспосабливает его к себе. При этом создается критическая ситуация, которую образуют две негативные тенденции.

Потребление ресурсов превышает темпы их естественного воспроизводства. Например, происходит снижение почвенного плодородия, для однопроцентной компенсации которого и сохранения прежней урожайности сельскохозяйственных растений необходимо увеличить затраты для их выращивания на 10 % [20].

Отходы, побочные продукты производства и быта загрязняют биосферу, нарушая глобальный круговорот веществ и создавая угрозу биоте и здоровью человека.

Данные тенденции являются «**продуктом**» **нерационального природопользования**, которое ведет к истощению, загрязнению и засорению природной среды, что сопровождается резким ухудшением условий существования человека. В этом случае происходят экологические кризисы и катастрофы.

**Экологический кризис** – напряженное состояние между человеком и природой, характеризующееся несоответствием развития производственных сил и производственных отношений в человеческом обществе возможностям Биосферы. Кризисы это обратимое явление, которое человек в состоянии устранить путем проведения природоохранных мероприятий. В отличие от кризисов, **экологическая катастрофа** явление необратимое и представляет собой аномальное явление, вызванное природными и антропогенными факторами.

Ресурсы делятся на виды: природные, материальные, трудовые, духовные.

**Природные ресурсы** – природные объекты и явления, используемые человеком для прямого и косвенного потребления, для создания материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов, поддержанию условий существования человечества и повышающих качество жизни.

**Материальные ресурсы** – накопленные в ходе экономической деятельности вещественные богатства, находящиеся на службе у общества.

**Трудовые ресурсы** – количество, образовательно-культурный уровень и состояние здоровья части населения, занятой общественно полезным трудом.

В свою очередь природные ресурсы классифицируются по исчерпаемости.

**Исчерпаемые ресурсы** – природные ресурсы, запасы которых снижаются под деятельностью человека.

**Неисчерпаемые ресурсы** – природные ресурсы, недостаток которых не ощущается сейчас и в обозримом будущем.

Понятие неисчерпаемости относительно, т. к. все ресурсы на Земле ограничены, а значит исчерпаемы. Кроме того, антропогенная деятельность приводит к ухудшению качества используемых природных богатств, что делает их менее пригодными для хозяйственной деятельности человека. Например, загрязнение водных объектов приводит к гибели организмов, резкому снижению самоочищающей способности воды. Это сопровождается развитием болезнетворных организмов, ухудшается санитарное состояние водного объекта. Данные процессы могут привести к деградации данной экосистемы, т. е. исчезновению водного ресурса.

Исчерпаемые природные ресурсы делятся на возобновляемые и невозобновляемые.

**Возобновляемые ресурсы** – природные ресурсы, которые в процессе биологического круговорота веществ могут восстанавливать свои запасы, за время соизмеримое с темпами хозяйственной деятельности. К ним относятся: водные ресурсы, биологические, ресурсы атмосферы, почвы. Следует учитывать, что если скорость изъятия ресурса превысит скорость его самовосстановления, способность к само возобновлению будет нарушена.

**Не возобновляемые ресурсы** – не способные к самовосстановлению природные ресурсы за время соизмеримое с темпами хозяйственной деятельности человека.

Ресурсы характеризуются запасами, т. е. их количеством. Например: объем стока воды в реке, ее энергетический потенциал, площади суши, которые можно использовать под сельскохозяйственные угодья. Запасы ресурсов делятся на доступные и потенциальные.

**Доступные запасы ресурсов** – объем ресурса, выявленный современными методами разведки, технически доступные и экономически рентабельные. Например: современными методами исследования можно достаточно точно определить объем стока воды в реке, современными техническими средствами необходимую его часть забрать (насосными станциями или самотечными способами) и использовать для производства продукции или водоснабжения населения; можно определить скорость ветра, его направление, повторяемость ветров и использовать это для получения электроэнергии с помощью современных ветроустановок. Все это доступные запасы ресурсов. Однако при этом использование воды, например, для водоснабжения населения, осуществляется с эффективностью 20...30 %, большая часть использованных водных ресурсов сбрасывается в водные объекты в загрязненном виде. Энергии ветра используется менее чем на 1 %, т. е. большая часть ресурсов в современных условиях не используется, но может быть использована в будущем. Поэтому введено понятие **потенциальные запасы ресурсов** – определенные на основе расчетов или рекогносцировочных изысканий, которые могут быть использованы в будущем. Таким образом, потенциальные запасы больше, чем доступные.

Использование природных ресурсов характеризуется уровнем изъятия, т.е. скоростью забора из природной среды. Например: речная вода, за счет поступления стоков с водосборной площади или из подземных источников возобновляется примерно за 12 суток. Если скорость забора воды будет больше скорости ее возобновления, то произойдет истощение реки.

В процессе использования все ресурсы претерпевают ряд превращений и перемещений. От изъятия до получения продукции они проходят определенный цикл, который называется ресурсным. **Ресурсный цикл** – совокупность превращений и перемещений ве-

ществ на всех этапах использования. В природных условиях ресурсы потребляемые животными и растительными организмами находятся в замкнутом ресурсном цикле (круговороте веществ), что позволяет многократно, экономно использовать ресурсы. Человек использует ресурсы в технологических циклах, которые характеризуются не замкнутостью и могут быть простыми и сложными. Простой цикл отличается однократным использованием ресурса для конкретной цели. Сложные циклы подразумевают многократное использование для различных целей. Сложные технологические циклы более похожи на природные, поэтому более экологичные, и позволяют более рационально использовать ресурсы [17].

Оценка воздействия на окружающую среду – это «процедура учета» экологических требований (или обоснование – информационная мера) при подготовке оптимального решения в ходе проектирования. ВОС по своей сути является процессом исследования воздействия проектируемой деятельности и прогноза его последствий для окружающей среды и здоровья человека.

Оценка воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду (ОВОС) и экологическая экспертиза направлены на предупреждение экологически вредных последствий.

В настоящее время основным нормативно-правовым актом, регулирующим порядок проведения ОВОС, является Положение об оценке намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации, которое было утверждено приказом Госкомэкологии РФ от 16.05.2000 г. № 372.

ОВОС представляет собой процесс, способствующий принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействий.

Целью проведения ОВОС является предотвращение или смягчение воздействия этой деятельности на окружающую среду и связанных с ней социальных, экономических и иных последствий.

ОВОС проводится для всех видов намечаемой хозяйственной и иной деятельности на самой ранней ее стадии – при подготовке технической и иной документации, обосновывающей развитие такой

деятельности. Эта документация и является объектами ОВОС. Примерный перечень видов документации дается в ст. ст. 11 и 12 ФЗ «Об экологической экспертизе».

Обязанность проведения ОВОС лежит на заказчике соответствующей документации. Заказчик может поручить проведение ОВОС иному лицу – исполнителю. В процедуре ОВОС принимают участие и иные субъекты: органы государственной власти субъектов РФ, органы местного самоуправления, специально уполномоченные государственные органы в области охраны окружающей среды, общественные организации и граждане [4].

Результатами оценки воздействия на окружающую среду являются (задачи):

- информация о характере и масштабах воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности, альтернативах ее реализации, оценке экологических и связанных с ними последствий этого воздействия и их значимости, возможности минимизации воздействий;
- выявление и учет общественных предпочтений при принятии заказчиком решений, касающихся намечаемой деятельности;
- решения заказчика по определению альтернативных вариантов реализации намечаемой деятельности (в том числе о месте размещения объекта, о выборе технологий и иные) или отказа от нее с учетом результатов проведенной оценки воздействия на окружающую среду.

Результаты оценки воздействия на окружающую среду документируются в материалах по оценке воздействия, которые являются частью документации по этой деятельности, представляемой на экологическую экспертизу, а также используемой в процессе принятия иных управленческих решений, относящихся к данной деятельности.

Принципы оценки воздействия на окружающую среду:

1. Презумпции экологической опасности любой намечаемой хозяйственной или иной деятельности;
2. Принцип обязательности проведения ОВОС на всех этапах подготовки документации до ее представления на государственную экологическую экспертизу;

3. Принцип предупреждения – недопущение возможных неблагоприятных воздействий на ОС;

4. Принцип альтернативности – заказчик (исполнитель) обязан рассмотреть альтернативные варианты достижения цели намечаемой деятельности, а также «нулевой вариант» (отказ от деятельности);

5. Принцип гласности, участия общественных организаций (объединений), учета общественного мнения при проведении ОВОС;

6. Принцип достоверности и полноты информации.

Экологическая оценка основана на простом принципе: легче выявить и предотвратить негативные для окружающей среды последствия деятельности на стадии планирования, чем обнаружить и исправлять их на стадии ее осуществления.

Одним из вариантов проведения ОВОС для речного бассейна является оценка изменения концентраций загрязняющих веществ по длине реки.

Воду поверхностных источников принято считать воспроизводимым природных ресурсом.

Экстенсивная эксплуатация водных объектов не наносит существенного ущерба или ущерб не достигает критического уровня, за которым неизбежна деградация водоема.

Обобщение негативных фактов гибели безвестных ручьев, малых рек, зарастание озер и прудов, загрязнение и засорение практически всех поверхностных источников позволяет сделать вывод, что у возобновляемых водных ресурсов есть недалекие пределы, за которыми природные механизмы самоочищения и воспроизводство водных ресурсов могут себя исчерпать.

Различают два аспекта проблемы – качество вод в природных водных объектах (прежде всего для целей питьевого водоснабжения) и количество доступных водных ресурсов.

Для оценки качества водных ресурсов необходимо определить объем поступающих в водный объект загрязняющих веществ с природных угодий (лес, луг, болото), земель подверженных антропогенному воздействию (сельскохозяйственные угодья, селитебные территории) и загрязнений, поступающих со стоками от водопотребителей (городское и сельское коммунально-бытовое хозяйство, животноводство, промышленные предприятия и т. д.). Поступление

веществ с природных угодий формирует естественный фон реки, а антропогенное поступление веществ приводит к дополнительному загрязнению водных объектов.

Все источники загрязнения водных объектов можно разделить на две группы: точечные и диффузные.

**Сосредоточенные (точечные) источники загрязнения** характеризуются сбросом загрязненных сточных вод по организованной сети (канализационной или дренажной системам). К ним относятся сточные воды водопотребителей, осушительных систем. **Диффузные (площадные) источники загрязнения** характеризуются поступлением веществ по фронту береговой линии водного объекта, другого водоприемника.

Количество водных ресурсов определяется природными возможностями водного объекта, условиями водопотребления и водоотведения примыкающей территории.

При загрязнении воды сбросами, выносом загрязняющих веществ с угодий ухудшаются условия обитания водной растительности и животных организмов, что приводит к снижению самоочищающей способности воды, гибели водных организмов, снижению устойчивости существования водных объектов и деградации водной экосистемы.

После поступления сточных вод в водные объекты они рассредоточиваются, загрязняющие вещества частично поглощаются водной биотой, частично сорбируются донным грунтом, осаждаются с твердыми частицами на поверхности дна. Органические вещества минерализуются, образуется вторичное загрязнение, донные отложения уносятся потоком воды за пределы участка сброса.

Наиболее опасно поступление в водные объекты биогенных веществ, используемых живыми организмами для питания и построения своего тела, которое может привести к эвтрофированию воды.

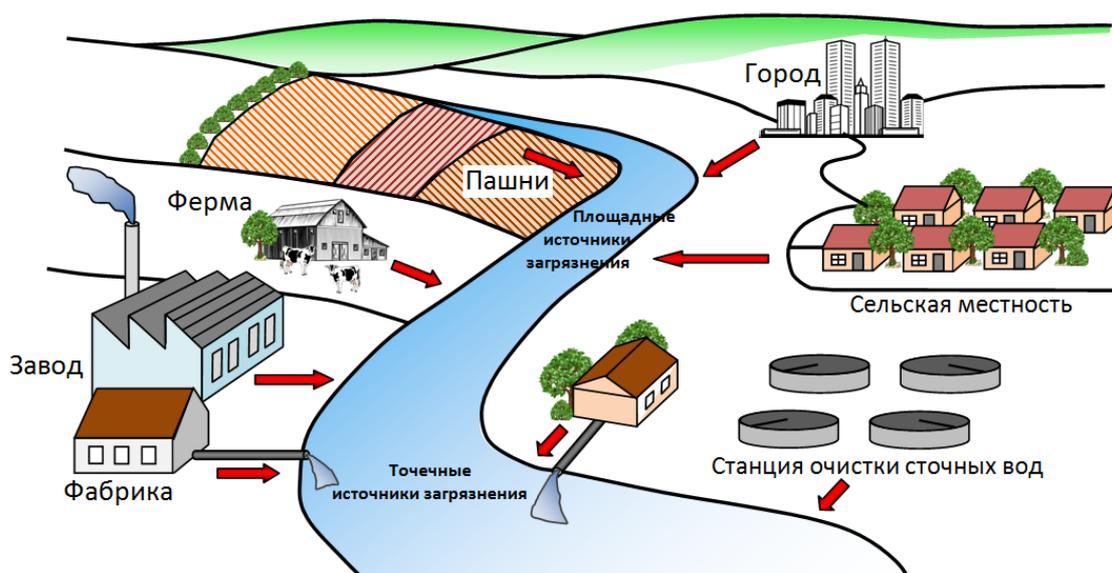
Замедление и обратимость процессов эвтрофикации принципиально возможны путем сокращения доступа в водные объекты биогенных элементов.

Углекислый газ поглощается водой из воздуха, поэтому его концентрацию в воде ограничить сравнительно трудно; целесообразнее снижать концентрации азота и фосфора, меняя тем самым соотношение углекислый газ – азот – фосфор, приводящее к росту биомассы.

Имеются многочисленные технологии предотвращения поступления биогенов в водный объект и технологии удаления биогенных элементов из сточных вод. Наиболее эффективна полная биологическая очистка сточных вод в осветлителях и аэротенках, где в аэробных условиях биогенные элементы перерабатываются микроорганизмами активного ила, снижая тем самым показатели БПК.

Водные объекты проходят различные стадии развития, которые разнятся изменением содержания биогенов в воде. Различают следующие *стадии развития*: олиготрофную, мезотрофную, эвтрофную и дистрофную. Каждая из них характеризуется изменением биомассы биоты, концентрациями биогенов, прозрачностью, цветностью вод и т. д. Качество воды водного объекта на различных стадиях трофности определяет ограничения по использованию воды [28].

Все источники загрязнения можно разделить на две группы: сосредоточенные и рассредоточенные. Сосредоточенные (точечные) источники загрязнения характеризуются сбросом загрязненных сточных вод по канализационной или дренажной системам. К ним относятся сточные воды водопотребителей и осушительных систем. Рассредоточенные источники загрязнения (площадные) характеризуются поступлением веществ по некоторому фронту береговой линии водного объекта (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Схема поступления загрязняющих веществ от сосредоточенных и рассредоточенных источников**

## **1.4. Необходимая исходная информация для выполнения расчетной работы по оценке загрязнения водного объекта**

### **1.4.1. Данные для выполнения расчетно-графической работы**

Учебное задание принимается в соответствии с последней цифрой шифра зачетной книжки студента по таблице 1.1 (с учетом примечаний).

К заданию приступают после изучения литературы согласно рекомендуемому библиографическому списку.

Цель работы: оценить влияние природных и антропогенных факторов на концентрации химических веществ в воде по длине водного объекта.

Таблица 1.1 – Исходные данные\*

№ варианта	Параметры														
	Площадь водосбора, $F$ , тыс. га	Модуль стока, $q$ , л-с/км <sup>2</sup>	Длина реки, $L$ , км	Тип леса	Почвы (или климатические зоны)	Ведущая с/х культура	Урожайность, $Y$ , ц/га	Численность населения, тыс. чел.		Численность поголовья скота, тыс. гол.	Вид живот-вот-ных	Промыш-ленное произ-водство	Вид продукции	Объем в еди-ницах	Размер-ность
								город	поселок						
1	235	9	85	еловый	нечерно-земная	много-летние травы	80	110	4	10	сви-ньи	с/х маши-ностроение	трактор	10	тыс. шт
2	230	6,5	75				60	120	6	9			груз. авто	30	
3	225	7	65				45	90	6,5	8			трактор	10	
4	220	8,5	60	смешанный	нечерно-земная	зерно-вые	45	105	7	7	КРС	химиче-ское	сода	30	тыс. т
5	215	4,5	90				60	90	5,5	4,5			удобрения	80	
6	210	6	70				40	80	5	4			сода	25	
7	205	10,5	85				35	75	4	4,5			удобения	80	
8	200	10	50	еловый	нечерно-земная	овощи	450	160	3	9	сви-ньи	строймате-риалы	кирпич	3	млн шт.
9	195	8,5	92				400	140	4	9,5			стекло	2,5	млн м <sup>2</sup>
10	190	8	60				300	120	3,5	10			стекло	2	млн м <sup>2</sup>
11	185	5	90				200	100	4,5	9			кирпич	2	млн шт.
12	180	9	68	сосновый	нечерно-земная	много-летние травы	35	140	4	7	КРС	с/х маши-ностроение	трактор	10	тыс. шт.
13	175	10	60				85	135	5,5	9			груз. авто	25	
14	170	7	70				40	130	5	8			груз. авто	30	
15	165	7,5	72				55	120	4,5	7,5			трактор	15	
16	160	6	75	лиственный	нечерно-земная	кормо-вые	150	90	7	8,5	сви-ньи	текстиль-ное	лен	100	тыс. м
17	155	7	70				150	85	5	9			шерсть	90	
18	150	8,5	65				170	80	4,5	8,5			лен	100	
19	145	8	60				160	90	6,5	8			шерсть	95	
20	140	4	80				180	85	6	9,5			шерсть	90	
21	135	10	95				185	90	5	8			лен	95	
22	130	5	85	осина	дерново-подзол.	карто-фель	250	110	6,5	7,5	КРС	целлюлоз-но-бумажное	целлюлоза	6	тыс. т
23	125	9	60				250	105	6	7			картон	3,5	
24	120	7,5	50				200	100	5,5	6			картон	3	
25	115	7	70		250		90	6	5,5	картон			3		
26	110	7,5	75		200		95	5,5	5	целлюлоза			5,5		
27	105	6	80		200		90	6	4,5	целлюлоза			6		

Продолжение таблицы 1.1

28	100	6,5	90	хвойный	нечерно-земная	зерно-вые	40	85	4,5	4	сви- ньи	химиче- ское	сода	30	
29	95	4	85		дерново-подзол.		25	80	3,5	4,5			сода	35	
30	90	3,5	92		60		75	4	5	удобрения			80		

**Примечание:** \*По четной последней цифре шифра принимают: тип болот – верховое и основное загрязняющее вещество – азот; для нечетной цифры – соответственно низинное болото и фосфор.

*Площади лесов, болот, лугов, с/х угодий – рассчитываются по следующим параметрам: долевое участие различных угодий на территории речного бассейна  $\alpha_{с/х}$ ;  $\alpha_{болот}$ ;  $\alpha_{лесов}$ ;  $\alpha_{лугов}$  назначается преподавателем.*

$$F_{луг} = F\alpha_{луг};$$

$$F_{бол} = F\alpha_{бол};$$

$$F_{лес} = F\alpha_{лес};$$

$$F_{с/х} = F\alpha_{с/х}.$$

### **Последовательность расчетов:**

1. Общая характеристика объекта исследований (задание для самостоятельной работы студентов).
2. Выбор и описание исходной информации для выполнения расчетов.
3. Составление схемы источников загрязнения речной воды.
4. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих в водный объект.
5. Определение изменения объемов воды по длине реки.
6. Расчет концентраций загрязняющих веществ в водном объекте.
7. Назначение водоохранных мероприятий.
8. Оценка эффективности проведения водоохранных мероприятий.
9. Оценка качества водных ресурсов и рекомендации по использованию речной воды.

Работа представляется в виде пояснительной записки с расчетами и графическим материалом, разделом по описанию реки и ее водосбора в соответствие с заданием по самостоятельной работе, обозначенным шифром, исходными данными в соответствие с шифром задания, расчетной схемой в соответствие с выбором преподавателя, оценками, анализами, выводами и рекомендациями.

#### **1.4.2. Пояснения к выполнению курсовой работы**

При выполнении курсовой работы необходимо выполнить задание по самостоятельной работе студентов (объем 10–12 страниц). Для этого необходимо используя литературные, нормативные, справочные источники и интернет порталы следует написать следующие разделы и подразделы курсовой работы:

#### **1. Природно-климатические характеристики объекта исследований**

##### **1.1. Географическое положение**

В какой географической зоне протекает река. В какой области (ях) расположен речной бассейн: где река берет начало, направление течения реки, характерные отметки местности, географическая широта и долгота. Обязательно в качестве рисунка 1 приводится карта

речного бассейна, на которой показывают реку с притоками, основные виды угодий (природные угодья и сельскохозяйственные, в том числе орошаемые земли), населенные пункты, животноводческие фермы, основные промышленные предприятия.

### **1.2. Климатические характеристики**

В этом подразделе описывается тип климата, найти и указать годовое количество осадков в мм, среднегодовое испарение с поверхности суши, сумма положительных температур (сумма среднесуточных температур выше нуля за год), среднегодовая скорость ветра, внутригодовое распределение осадков, температур, испарения). Данные берутся по ближайшей метеостанции, расположенной на территории речного бассейна).

### **1.3. Рельеф и полезные ископаемые**

В данном подразделе приводятся сведения о рельефе местности на территории речного бассейна, характеризуется мезо и микро-рельеф речной долины, описываются залежи полезных ископаемых, их добыча и использование.

### **1.4. Гидрогеология**

В данном подразделе сделать описание используемых на объекте водоносных горизонтов: глубина, мощность, принадлежность к геологическому периоду (например, воды четвертичных отложений, воды каменноугольных отложений т.д.), указать дебиты, модуль подземного стока, минерализацию, гидрохимическую характеристику подземных вод, для каких целей используются подземные воды.

### **1.5. Гидрология**

В данном подразделе указывается основной водный объект – река, который используется для водопотребления и сброса загрязненных сточных вод. Необходимо дать основные характеристики водосбора реки, к которым относятся: водосборная площадь; длина реки; модуль поверхностного стока, заозеренность, заболоченность, залесенность водосбора, указывается процент пахотных земель от общей площади речного бассейна. Также необходимо найти и описать гидрологические характеристики реки, к которым относятся: средний многолетний объем воды в реке; среднемноголетний расход воды; коэффициенты вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$  стока, уклон реки  $I_p$ , ‰.

## **1.6. Растительность и животный мир**

В этом подразделе указывают, к какой природной зоне и подзоне относится речной бассейн. Дается характеристика лесов, состава основных лесных насаждений и подлеска. Характеризуются луга по видовому составу растений. Дается описание и классификация болот, видовой состав болотной растительности. Следует указать, какие водные растения являются типичными для данной реки и их роль в очищении воды.

При описании животного мира перечисляются представители основных отрядов (млекопитающие, птицы, земноводные, пресмыкающиеся, и т. д.) животных.

Обязательно следует указать исчезающие или занесенные в Красную книгу. А также дать краткую характеристику особо охраняемых территорий (заповедники, заказники, национальные парки) и памятников Природы (деревья большого возраста, холмы, родники, валуны и т. д.).

## **1.7. Основные характеристики водопользования**

В данном подразделе следует описать основных участников водопользования:

- население объекта (общее количество, какая часть всего населения (%) проживает в городах, а какая часть (%) является сельским населением, плотность населения. Как организовано водопользование в городах и селах (например, используются поверхностные воды реки и сточные воды после использования возвращаются в реку; или используются преимущественно подземные воды, а река является приемником сточных вод и т. п.);

- промышленные предприятия – кратко охарактеризовать ведущие отрасли промышленности/ведущую отрасль промышленности – вид выпускаемой продукции, годовой объем выпуска промышленной продукции на подземных или поверхностных водах организовано водопользование; описать наличие оборотных систем водоснабжения и процент воды в водообороте;

- животноводческие комплексы, фермы (вид животных – крупный рогатый скот (КРС) – молочное или мясное направление; овцы, свиньи, куры и т. п.); количество голов животных; следует указать, какие воды используют в животноводстве подземные или поверхностные; описать системы очистки животноводческих стоков

и их повторное использование;

- орошение (площадь орошаемых земель на объекте исследования; структура севооборота (типовая); оросительные нормы для различных видов сельскохозяйственных культур для рассматриваемой природно-климатической зоны, метод орошения (поверхностный полив, дождевание, мелкодисперсное или капельное орошение).

## **1.8. Современное экологическое состояние реки и речного бассейна**

В этом подразделе кратко описывают экологическое состояние выбранной реки; если есть – проблемы с водопользованием, такие как загрязнение пестицидами, тяжелыми металлами, нефтепродуктами, эфторифирование. Характеризуют состояние водной биоты, дают характеристику качества воды в реке.

### **1.4.3. Пояснения для выполнения раздела ОВОС в выпускной квалификационной работе**

При выполнении раздела ОВОС в выпускной квалификационной работе (далее ВКР) исходные данные по природным угольям и землепользованию на территории речного, а также характеристика современного экологического состояния реки берутся из первого раздела ВКР. Данные по водопользованию как современные, так и на перспективу берутся из соответствующего (их) разделов ВКР. В заключение ВКР отдельно записываются результаты ОВОС.

## 2. МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ БИОГЕННЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

### 2.1. Составление схемы источников загрязнения реки

Составление схемы источников загрязнения реки проводится на основе схемы расположения лесов, болот, лугов, сельскохозяйственных угодий, отраслевых сооружений участников водопользования (рисунок 2.1) [1].

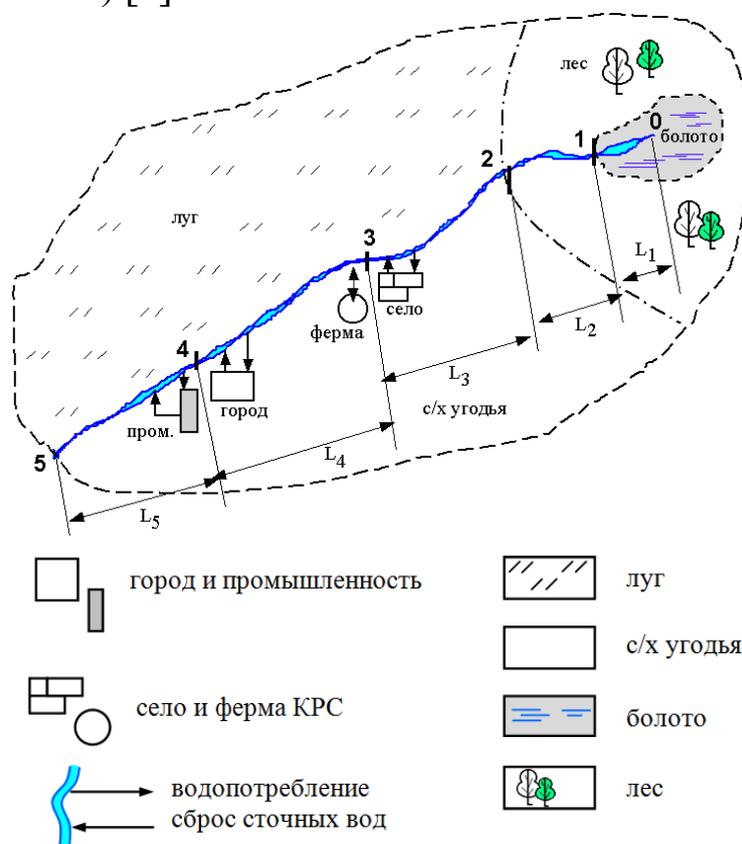


Рисунок 2.1 – Расположение различных видов угодий и отраслей хозяйства на территории речного бассейна

Параметры источников загрязнения водного объекта задаются в исходных данных (или используется схема реального объекта, по которому имеется необходимая конкретная информация).

## **2.2. Определение объемов загрязняющих веществ**

В работе оценка качества водных объектов проводится на основе расчетов изменения концентрации азота или фосфора (как основных биогенных веществ, влияющих на процесс эвтрофирования воды) в речной воде.

Прежде всего, определяется количество загрязнений, поступающих в реку ото всех источников.

Источниками загрязняющих веществ являются объекты природного происхождения (болото, лес, луг) и/или антропогенного воздействия (сельскохозяйственные угодья, сельские и городские населенные пункты, животноводческие фермы, промышленные предприятия). В работе уровня РГР все вышеперечисленные объекты возможного поступления загрязняющих веществ в реку рассматривают строго в соответствии со схемой данной преподавателем. В курсовой или выпускной квалификационной работе объекты возможного поступления загрязняющих веществ в реку рассматривают в соответствии с упрощенной или реальной схемой для рассматриваемого речного бассейна, части речного бассейна или водохозяйственного участка.

### **2.2.1. Расчет объемов загрязняющих веществ, поступающих с природных угодий**

В работе рассматриваются такие виды производных угодий как: лесные угодья, луговые угодья и болота.

Объем загрязняющих (биогенных) веществ, поступающих с лесных угодий, определяется по зависимости:

$$B_{\text{лес}} = V_i \alpha_i F, \text{ кг} \quad (2.1)$$

где  $V_i$  – удельное количество  $i$ -го вещества, поступающего за год в лесную подстилку в зависимости от типа лесных угодий, кг/га (таблица 2.1);  $\alpha_i$  – коэффициент потерь  $i$ -го биогенного вещества при разложении растительного опада; принимается для азота  $\alpha_N = 0,035$ , для фосфора  $\alpha_P = 0,008$ ;  $F$  – площадь лесов, га.

**Таблица 2.1 – Удельное количество биогенных веществ  
в лесной подстилке**

Тип леса	Значения $V_i$ , кг/га	
	Азот	Фосфор
Еловый	36	2,0
Сосновый	16	4,3
Хвойный	26	3,5
Осиновый	46	4,0
Лиственный	47	7,3
Смешанный	37	5,4

Для определения объемов выноса биогенных веществ с луговых угодий и болот используется одно и то же уравнение:

$$V_{\text{луг, бол.}} = J_{ij} F_j, \text{ кг} \quad (2.2)$$

где  $J_{ij}$  – удельный вынос  $i$ -го вещества с  $j$ -го вида угодий (луг, болото) за год, кг/га (таблица 2.2);  $F_j$  – площадь  $j$ -го вида угодий, га.

**Таблица 2.2 – Удельный вынос биогенных веществ  
с территории лугов и болот**

Вид угодий	Значения параметра, $J_{ij}$ , кг/га	
	Азот	Фосфор
Луга	1,6	0,04
Болота:		
– верховые	1,8	0,08
– низинные	4,0	0,10

### **2.2.2. Расчет объемов выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий**

Расчет объемов выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий (богарные земли, орошаемые территории) проводится по формуле:

$$V_{c/x} = \beta_i \rho Y \eta_i F_{c/x}, \text{ кг} \quad (2.3)$$

где  $\beta_i$  – коэффициент миграции веществ из почв в растения;  $\rho$  – коэффициент, учитывающий удаленность сельскохозяйственных угодий от водного объекта, в задании (при выполнении РГР) принимаем  $\rho = 1$ ;  $Y$  – урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га;  $\eta_i$  – содержание  $i$ -го вещества в растении, кг/ц;  $F_{c/x}$  – площадь сельскохозяйственных угодий, га.

**Таблица 2.3 – Коэффициент миграции биогенных веществ из почвы**

Растения	Почва или природно-климатическая зона произрастания	Коэффициент $\beta_i$	
		Азот	Фосфор
Зерновые	дерново-подзолистая	0,16	0,12
	нечерноземная зона	0,12	0,10
Кормовые	нечерноземная зона	0,50	0,20
Овощи	"-"	0,60	0,30
Многолетние травы	"-"	0,30	0,15
Картофель	дерново-подзолистая	0,21	0,17
	серые подзолистая	0,13	0,12
Лен	нечерноземная зона	0,30	0,10

**Таблица 2.4 – Значения коэффициента  $\rho$**

Удаленность, км	0,5	0,5–1	1–2	2–3	3–4	4–5	> 5
$\rho$	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2

**Таблица 2.5 – Содержание биогенных веществ в растениях**

Растения	Значения $\eta_i$ , кг/ц	
	Азот	Фосфор
Зерновые	2,5	1
Кормовые	0,65	0,15
Овощи	0,5	0,2
Многолетние травы	2	0,8
Картофель	0,6	0,2
Лен	2	0,45

Расчеты объемов выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий проводятся для ведущей культуры севооборота, указанной в исходных данных, считая, что она занимает всю площадь.

Примечание: При выполнении более ответственных расчетов объемы выноса биогенных веществ определяются для различных видов сельскохозяйственного использования земель в зависимости от цели выполняемых расчетов.

### **2.2.3. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами водопотребителей**

Основными источниками загрязнения водных объектов среди водопотребителей могут являться:

- коммунально-бытовое хозяйство городов и сел;
- рекреационные учреждения;
- животноводство;
- орошение;
- промышленность.

#### *Коммунально-бытовое хозяйство и животноводство*

Объемы загрязняющих веществ, поступающих от коммунально-бытового хозяйства (КБХ города, села) и животноводства определяются по формуле:

$$B = q_i N_i, \text{ кг} \quad (2.4)$$

где  $q_i$  – удельное количество  $i$ -го вещества, поступающего в сточные воды за год от одного человека (головы скота), кг/год·чел., кг/год·гол. (таблица 2.6);  $N_i$  – численность населения (поголовье скота), чел., голов.

**Таблица 2.6 – Удельное поступление биогенных веществ за год в сточные воды от единицы численности населения (головы скота)**

Источник загрязнения	Значения $q_i$ , кг/год в единицу	
	Азот	Фосфор
Городское КБХ, рекреация	8,7	1
Сельское КБХ	5,1	0,5
Животноводство:		
– КРС (крупный рогатый скот);	41,3	4,5
– МРС (мелкий рогатый скот, овцы);	4,3	0,7
– свиньи	15,5	1

#### *Промышленность*

Объем загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами промышленности, определяется на отраслевой основе.

В расчетах используются концентрации загрязняющих веществ в сточных водах промышленных предприятий, осредненные по соответствующим министерствам, ведомствам и сведенные в таблице 2.7.

Нормы водопотребления свежей воды из источника и сброса сточных вод, необходимые для выпуска единицы продукции, принимаются по справочнику. Для некоторых видов промышленной продукции названные нормы представлены в таблице 2.8 [27].

В задании рассматривается не общее водопотребление предприятий соответствующих отраслей (осуществляемое, как правило, из разных источников – водозабор, городской водопровод, система технического водоснабжения, система оборотного водоснабжения и т. д.), а только изъятие свежей воды из реки.

Для заданного производства определяем забор свежей воды из источника –  $W_{\text{забор}}$ , коэффициент возвратных вод –  $K_{\text{ВВ}}$ , а затем объем возвратных (сбросных) вод –  $W_{\text{ВВ}}$ , воспользуемся формулами:

$$W_{\text{забор}} = \frac{q_{\text{св}} \Pi}{\text{КПД} \times 10^6}, \text{ млн м}^3 \quad (2.5)$$

$$K_{\text{ВВ}} = \frac{q_{\text{сбр}}}{q_{\text{св}}}; \quad (2.6)$$

$$W_{\text{ВВ}} = W_{\text{заб.}} K_{\text{ВВ}}, \text{ млн м}^3, \quad (2.7)$$

где  $q_{\text{св}}$ ,  $q_{\text{сбр}}$  – соответственно, норма забора свежей воды из источника и норма сброса сточных вод на единицу продукции;  $\Pi$  – объем вырабатываемой продукции, тыс. единиц (исходные данные), КПД – коэффициент полезного действия системы водоснабжения; КПД = 0,8–0,9;  $W_{\text{ВВ}}$  – объем возвратных (сточных) вод, м<sup>3</sup>;  $K_{\text{ВВ}}$  – коэффициент возвратных вод.

Используя данные о концентрациях загрязняющих воду веществ ( $C_i$ ), и учитывая долю очищаемых сточных вод ( $\mathcal{E}$ ), определяются объемы азота (фосфора) в сточных водах промышленности по формуле:

$$B_3 = C_i W_{\text{ВВ}} (1 - \mathcal{E}), \text{ кг} \quad (2.8)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в сточных водах предприятия, мг/л (г/м<sup>3</sup>) [27];  $\mathcal{E}$  – доля очищаемых сточных вод.

**Таблица 2.7 - Средние значения концентраций азота и фосфора в сточных водах промышленных предприятий, соответствующих министерств и ведомств**

Вид промышленного производства	Концентрации, $C_i$ , мг/л (г/м <sup>3</sup> )		Доля очищаемых сточных вод на единицу продукции, $\mathcal{E}$
	азот	фосфор	
Нефтегазовая	10,80	2,94	0,45
Химическая	5,06	0,86	0,04
Текстильная	4,7	2,34	0,2
Лесоперерабатывающая	3,77	1,37	0,15

**Продолжение таблицы 2.7**

Авиапром	3,30	1,46	0,02
Сельскохозяйственное машиностроение	1,86	2,64	0,37
Тяжелое машиностроение	1,57	0,23	0,01
Металлургия	1,39	0,96	0,07
Электропром	0,36	1,50	–
Производство строительных материалов	0,32	1,4	0,13

**Таблица 2.8 – Удельные нормы водопотребления и водоотведения в промышленности за год [27]**

Промышленность, вид продукции	Размерность удельной нормы	Норма водопотребления свежей воды, $q_{св}$	Норма сброса сточных вод, $q_{сбр}$
<b>Добыча:</b>			
нефть	м <sup>3</sup> /т	3,0	0,25
уголь	"-	0,5	0,13
<b>Химпром:</b>			
✓ удобрения	м <sup>3</sup> /т	5,0	2,9
✓ сода	"-	8,0	1,7
✓ синтетическое волокно	"-	290,0	195,0
<b>Машиностроение:</b>			
✓ металлургическое оборудование	м <sup>3</sup> /т	20,0	12,0
✓ станков	м <sup>3</sup> /т	60,0	41,0
✓ грузовые автомобили	м <sup>3</sup> /шт.	20,0	12,0
✓ тракторов	м <sup>3</sup> /шт.	70,0	47,0
<b>ЦБК:</b>			
✓ бумага	м <sup>3</sup> /т	85,0	83,6
✓ картон кровельный	"-	70,0	68,7
<b>Стройматериалы:</b>			
✓ кирпич	м <sup>3</sup> /1000 шт.	1,6	1,0
✓ стекло	м <sup>3</sup> /тыс. м <sup>2</sup>	33,0	30,0
<b>Текстильная (ткани):</b>			
✓ хлоп. бумажные	м <sup>3</sup> /1000 м	133,0	91,0
✓ шерстяные	"-	390,0	325,0
✓ льняные	"-	447,0	420,0

Продолжение таблицы 2.8

✓ шелковые	"-"	50,0	44,5
Легкая промышленность:			
✓ трикотаж	м <sup>3</sup> /т	386,0	374,8
✓ обувь	м <sup>3</sup> /1000 пар	15,0	12,5
Пищевая промышленность:			
✓ мясо	м <sup>3</sup> /т	23,0	19,3
✓ молочная продукция	"-"	7,0	6,5

### 2.3. Расчет объемов стока воды по длине реки с учетом безвозвратного водопотребления

На процесс формирования речного стока влияют природные и антропогенные факторы. К природным факторам относятся: сток с лесных угодий, болот, лугов и т. д.; к антропогенным – сток с сельскохозяйственных угодий, водопотребление и сброс сточных вод отраслями хозяйства.

При расчетах загрязненности природных вод, необходимо знать объемы воды в характерных створах реки, например в местах впадения притоков, в точках водозабора или сброса сточных вод и т. п. Требуемые объемы можно определить, зная модули стока воды с водосборной площади. Для упрощения расчетов, в условиях учебного задания модули стоков для естественных и сельскохозяйственных угодий принимаются, постоянными и равным значениям, полученным по карте изолиний модулей стока [15, 25].

#### 2.3.1. Определение естественного стока водного объекта

Объем стока воды в реке определится:

$$W_p = q_p T F, \text{ млн м}^3 \quad (2.9)$$

где  $q_p$  – модуль стока воды с водосбора, л/сек·км<sup>2</sup>,  $T$  – число секунд в году,  $T = 31,536 \times 10^6$  сек;  $F$  – площадь водосбора реки, км<sup>2</sup>.

Зная, что зависимость изменения объемов стока от протяженности гидрографической сети малых рек хорошо аппроксимируется линейной функцией, объемы стока вода в характерных створах реки можно определить по пропорции:

$$W_K = \frac{W_p L_K}{L_p}, \text{ млн м}^3 \quad (2.10)$$

где  $W_K$ ,  $W_p$  – соответственно, объемы воды в  $k$ -ом и заключительном створах реки, млн м<sup>3</sup>;  $L_K$ ,  $L_p$  – соответственно, длина гидрографической сети для  $k$ -го створа и всей реки.

Данную зависимость можно использовать для определения объемов загрязняющих веществ, поступающих от рассредоточенных источников загрязнения. При этом делается допущение, что сток воды и поступление загрязняющих веществ происходит равномерно с площади рассредоточенного источника.

### 2.3.2. Расчет объемов водопотребления

Вода, подаваемая на хозяйственно-питьевые нужды населения, должна удовлетворять требованиям ГОСТ Р 51232-98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества [7].

Состав и свойства воды в реке в пунктах питьевого водопользования не должны превышать нормативы СанПиН 2.1.3684-21 [21].

Объемы водопотребления из реки отраслями хозяйства определяются по формулам [4, 17–19]:

#### ➤ коммунально-бытовое хозяйство

$$W_{\text{КБХ}} = \frac{N_{\text{КБХ}} q_{\text{КБХ}} t}{\eta_{\text{КБХ}}}, \text{ млн м}^3 \quad (2.11)$$

где  $W_{\text{КБХ}}$  – объем водопотребления коммунально-бытовым хозяйством, млн м<sup>3</sup>;  $N_{\text{КБХ}}$  – численность населения на объекте исследования по уровням развития, чел.;  $q_{\text{КБХ}}$  – удельная норма водопотребления, л/сут.·чел.;  $\eta_{\text{КБХ}}$  – коэффициент полезного действия сети водоснабжения;  $\eta_{\text{КБХ}} = 0,95$ ;  $t$  – расчетный период времени,  $t = 365$  сут.

#### ➤ животноводство

$$W_{\text{ЖИВ}} = \frac{N_{\text{ЖИВ}} q_{\text{ЖИВ}} t}{\eta_{\text{ЖИВ}}}, \text{ млн м}^3 \quad (2.12)$$

где  $W_{\text{ЖИВ}}$  – объем водопотребления для целей животноводства;  $N_{\text{ЖИВ}}$  – поголовье скота, гол.;  $q_{\text{ЖИВ}}$  – удельная норма водопотребления, л/сут. гол.;  $\eta_{\text{ЖИВ}}$  – коэффициент полезного действия сети водоснабжения,  $\eta_{\text{ЖИВ}} = 0,85$ ;  $t$  – период времени, за который определяется объем водопотребления,  $t = 365$  сут.

### ➤ рекреация

Рекреация выступает как водопотребитель (санатории, дома отдыха, пансионаты, лечебницы и т. д.), для которой характерны черты городского коммунально-бытового хозяйства. Основное отличие заключается в неравномерности водопотребления в течение года, что связано с режимом работы.

Рекреация относится к неравномерно потребляющим воду в течение года участникам водопользования. Водопотребление согласуется с режимом приема отдыхающих. Продолжительность работы рекреационных учреждений определяется с помощью внутригодового распределения температур воздуха. Летний отдых назначается в период с температурой не ниже 10 °С. Зимний отдых при температуре не выше –5 °С [4].

Продолжительности периода работы рекреационных учреждений может быть назначена за определенные месяцы, например за I–III, V–IX, XII, что составит 274 дня, т. е.  $t_{\text{РКБХ}} = 274$  сут. Однако может быть и другой режим работы рекреационных учреждений, от нескольких месяцев до года.

Годовой объем водопотребления для рекреации рассчитывается в зависимости от численности отдыхающих  $N_{\text{РКБХ}}$  нормы водопотребления  $q_{\text{РКБХ}}$ , продолжительности периода работы  $t_{\text{РКБХ}}$  и КПД системы водоснабжения  $\eta_{\text{РКБХ}}$ :

$$W_{\text{РКБХ}} = \frac{N_{\text{РКБХ}} q_{\text{РКБХ}} t_{\text{РКБХ}}}{10^3 \eta_{\text{РКБХ}} 10^6}, \text{ млн м}^3 \quad (2.13)$$

где  $N_{\text{РКБХ}}$  – численность отдыхающих, чел.;  $q_{\text{РКБХ}}$  – удельная норма водопотребления одним отдыхающим в сутки,  $q_{\text{РКБХ}} = 400\text{--}500$  л/сут.\*чел. (санатории, пансионаты);  $\eta_{\text{РКБХ}}$  – КПД системы водоснабжения,  $\eta_{\text{РКБХ}} = 0,95$ .

### ➤ орошение

$$W_{\text{ор}} = \frac{F_{\text{ор}} M_{\text{ор}}}{\eta_{\text{ор}}}, \text{ млн м}^3 \quad (2.14)$$

где  $W_{\text{ор}}$  – годовой объем водопотребления, млн м<sup>3</sup>/вег;  $F_{\text{ор}}$  – площадь орошаемых земель, га;  $M_{\text{ор}}$  – оросительная норма  $i$ -ой культуры, зависит от природно-климатических условий района выращивания культур, вида растений и способа полива, м<sup>3</sup>/га;  $\eta_{\text{ор}}$  – коэффициент полезного действия оросительной системы,  $\eta = 0,7\text{--}0,9$ .

➤ **промышленность**

$$W_{\text{пр}} = \frac{B_{\text{пр}} q_{\text{пр}}}{\eta_{\text{пр}}}, \text{ МЛН М}^3 \quad (2.15)$$

где  $B_{\text{пр}}$  – объем выпускаемой продукции, т, шт. и др.;  $q_{\text{пр}}$  – норма водопотребления для промышленности, например:  $q_{\text{молоко}}^{\text{пр}} = 7 \text{ м}^3/\text{т}$ ;  $q_{\text{лесная}}^{\text{пр}} = 4,1 \text{ м}^3/\text{т}$ ;  $q_{\text{кирпичи}}^{\text{пр}} = 1,6 \text{ м}^3/1000 \text{ шт.}$ ;  $\eta_{\text{пр}}$  – коэффициент полезного действия систем водоснабжения,  $\eta^{\text{пр}} = 0,9$ .

### 2.3.3. Определение объемов водоотведения

Объемы водоотведения сточных вод в реку (объемы возвратных вод) определяются для водопотребителей в зависимости от коэффициента возвратных вод и объемов водопотребления по формуле:

$$W_{\text{вв}i} = W_i k_{\text{вв}i}, \text{ МЛН М}^3 \quad (2.16)$$

Значения норм водопотребления и коэффициентов возвратных вод  $k_{\text{вв}}$  приведены в таблице 2.9.

**Таблица 2.9 – Значения норм водопотребления и коэффициентов возвратных вод [11, 23]**

Водопотребители	Нормы водопотребления	$k_{\text{вв}}$
КБХ, л/с·чел.		
город	160–300	0,7–0,8
село	50–100	0,6–0,7
рекреация	400–500	0,7–0,8
Животноводство, л/с·гол.		
коровы молочные	100	0,5
коровы мясные	70	0,7
телята	20	0,35
лошади	60	0,5
овцы	10	0,5
свиньи	15	0,37
кролики	3	0
куры	1	0
Орошение, м <sup>3</sup> /га	1000–6000 (задается)	0,1–0,15

### 2.3.4. Расчет безвозвратного водопотребления

Разность между объемом водопотребления и объемом сточных (возвратных) вод это объем безвозвратного водопотребления, который рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{БВП}} = W - W_{\text{ВВ}}, \text{ млн м}^3 \quad (2.17)$$

### 2.4. Расчет концентраций загрязняющих веществ в речной воде

Расчет концентраций загрязняющих веществ в речной воде проводится по формуле смешения речных и сточных вод:

$$C_n^i = \frac{B_n^i}{W_p^{\text{БВП}} \times 10^3}, \text{ мг/л} \quad (2.18)$$

где  $C_n^i$  – концентрация  $i$ -го вещества в  $n$ -ом створе реки;  $B_n^i$  – объем  $i$ -го вещества, поступившего в реку до  $n$ -го створа, кг;  $W_p^{\text{БВП}}$  – объем стока воды в реке в  $n$ -ом створе, млн м<sup>3</sup>

Сброс сточных вод в водоем недопустим, если фоновая концентрация  $C_x \geq \text{ПДК}$ . Согласно нормативным документам запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды, которые:

- могут быть устранены путем организации малоотходных производств, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки и обеззараживания в промышленности, городском хозяйстве и для орошения в сельском хозяйстве;
- содержат возбудителей инфекционных заболеваний бактериальной, вирусной и паразитарной природы;
- содержат вещества, для которых не установлены гигиенические ПДК или ОДУ;
- содержат чрезвычайно опасные вещества, для которых нормативы установлены с пометкой «отсутствие».

Запрещается сброс сточных вод в границах зон санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, рыбоохранных зон, рыбохозяйственных заповедных зон и в некоторых других случаях.

Сточные воды можно сбрасывать в водные объекты при условии соблюдения гигиенических требований применительно к воде водного объекта в зависимости от вида водопользования.

В расчетном створе вода должна удовлетворять нормативным требованиям. В качестве норматива используется ПДК.

Все вредные вещества, для которых определены ПДК, подразделены по лимитирующим показателям вредности (ЛПВ), под которым понимают наибольшее отрицательное влияние, оказываемое данными веществами. Принадлежность веществ к одному и тому же ЛПВ предполагает суммацию действия этих веществ на водный объект.

Для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования используют три вида ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический.

Для рыбохозяйственных водоемов используют пять видов ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный, органолептический, токсикологический и рыбохозяйственный.

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*.

## 2.5. Оценка загрязненности водного объекта

Оценка загрязненности водного объекта проводится на основе сравнения концентраций веществ в речной воде с предельно - допустимыми концентрациями загрязняющих веществ для водных объектов. Последние должны учитывать сохранение устойчивости водных экологических систем, в частности недопущения эвтрофирования воды.

Уровень загрязненности воды водных объектов биогенными веществами, особенно фосфором и азотом хорошо коррелирует со стадией развития водных экосистем (трофическим уровнем), что характеризует возраст водного объекта, как развивающейся биологической системы, и использование водных ресурсов для целей народного хозяйства таблица 2.10.

**Таблица 2.10 – Характеристика стадий развития водного объекта  
(по Хрисанову Н. И.) и пригодность воды для водопользования  
(по Николаеву С. Г.) [28]**

Стадии развития водного объекта	Концентрации, мг/л		Использование воды
	Азот	Фосфор	
Олиготрофная	0,0–0,60	0,00–0,008	Все виды водопользования
Мезотрофная	0,6–0,75	0,008–0,02	Все виды водопользования. Для питьевого водоснабжения с предварительной очисткой
Эвтрофная	0,75–1,87	0,02–0,08	Ограниченное рыбоводство, техническое водоснабжение
Дистрофная	1,87	0,08	Техническое водоснабжение с предварительной очисткой

Полученные расчетные концентрации загрязняющих воду веществ сравниваются с концентрациями, характеризующими уровень трофности водного объекта, что позволяет сделать вывод о загрязнении водного объекта, возможности его эвтрофирования и ухудшения условий водопользования. В случае превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) принимаемых равными:  $ПДК_N = 1,0$  мг/л и  $ПДК_P = 0,03$  мг/л.

Необходимо предусмотреть водоохраные мероприятия.

## 2.6. Водоохраные мероприятия

Для снижения объемов загрязняющих веществ, поступающих от сосредоточенных источников, применяется очистка сточных вод на сооружениях полной биологической очистки с эффективностью  $\mathcal{E} = 90...95$  %, это означает что после очистки концентрация загрязняющих веществ в сточных водах не должна превышать ПДК. Для доочистки сточных вод используем инфильтрационное биоπλάто с эффективностью  $\mathcal{E}_{\text{биопл}} = 80$  % [4, 13].

В данном задании содержание веществ в сточных водах, прошедших очистку, определяется по формуле:

$$B = ПДК \times W_{\text{вв}}, \text{ кг} \quad (2.19)$$

Для предотвращения загрязнения водных ресурсов стоками с сельскохозяйственных угодий вдоль водного объекта устраиваются водоохраные зоны (ВОЗ), ширина ВОЗ назначается в соответствии в

Водным Кодексом РФ. Экологическая эффективность  $\mathcal{E}_{\text{воз}} = 50\text{--}80\%$ . В пределах водоохранных зон назначается ширина прибрежных защитных полос ПЗП. Ширина ПЗП определяется с учетом уклонов местности, механического состава почво-грунтов. Экологическая эффективность ВОЗ зависит от конструкции ВОЗ, характерных особенностей ландшафта и видов растительности, в пределах ВОЗ. В таблице 2.11 приведены данные по ширине водоохранных зон [3, 16].

**Таблица 2.11 – Ширина ВОЗ в зависимости от категории рек**

Длина реки, км	Ширина ВОЗ, м
до 10	50
10...100	100
более 100	200

Снижение нагрузки на водный объект со стороны животноводческих ферм и сельских поселков возможно путем обвалования территории ферм (экологическая эффективность данного мероприятия  $\mathcal{E}_{\text{обв}} = 60\%$ ), использование отстойников сточных вод, в том числе и выгребных ям (эффективность  $\mathcal{E}_{\text{отст}} = 70\%$ ) [14, 18, 19].

Учитывая эффективности предлагаемых мероприятий, пересчитываются концентрации загрязняющих веществ в водном объекте, до тех пор, пока они не станут меньше ПДК на всем протяжении реки.

Для учета данных мероприятий, объем загрязняющих веществ в сточных водах с учетом эффективности водоохранных зон, устройства отстойников, обвалования территории определяется по формуле:

$$V_{\text{мер}} = B \left( 1 - \frac{\mathcal{E}_{\text{мер}}}{100\%} \right), \text{ кг} \quad (2.20)$$

На основании проделанной работы пишется вывод, в котором отражаются:

- источники антропогенного загрязнения вод и их удельный вес в общем объеме поступающих загрязнений;
- превышение концентраций загрязняющих веществ в речной воде ПДК, с указанием источников, вызывающих данное загрязнение;
- перечисляются предлагаемые водоохранные мероприятия, и описывается эффективность их применения по изменению уровня загрязненности реки;
- описывается возможность использования водных ресурсов в хозяйстве.

### 3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ДЛЯ РЕКИ БЕЗ ПРИТОКОВ

В качестве примера рассмотрена условная река без притоков.

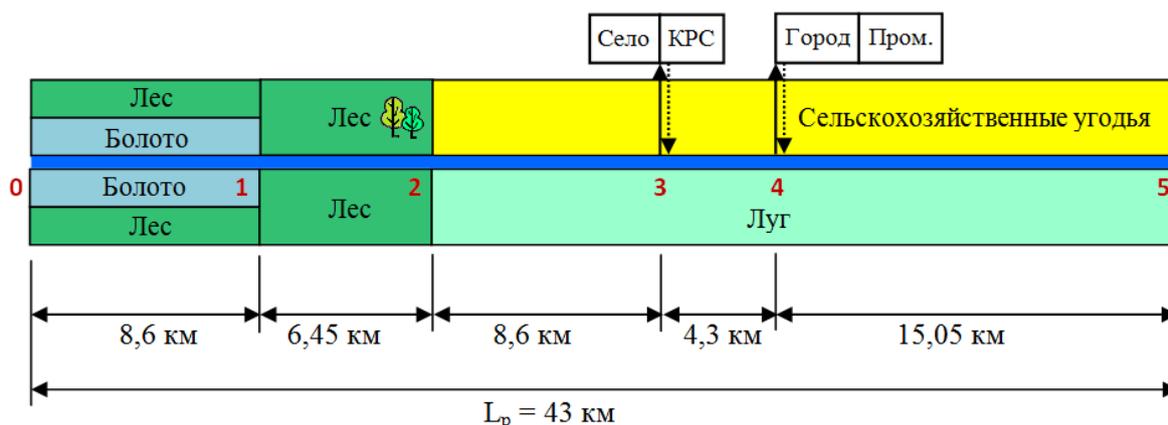
#### Исходные данные

Номер варианта	Площадь водосбора $F$ , тыс. га	Модуль стока, $q$ , л/с·км <sup>2</sup>	Длина реки, $L$ , км	Тип леса	Почвы (или климатическая зона)
$n$	135	10	43	смешанный	Дерново-подзолистые
Вид животных	Промышленное производство	Вид продукции	Объем в единицах	Тип болот	Загрязняющее вещество
КРС	текстильный комбинат	ткань шерсть	100 тыс. м	низинные	Азот
Ведущая с/х культура	Урожайность $Y$ , ц/га	Численность			
		поселка, тыс. чел.	города, тыс. чел.	фермы (КРС), тыс. гол.	
зерновые	25	2	200	10	
Площади угодий, тыс. га					
$F_{лес}$	$F_{бол}$	$F_{с/х}$	$F_{луг}$		
21,6	13,5	60,75	33,75		

Длина участков реки	$L_1 = 0,2L$	$L_2 = 0,15L$	$L_3 = 0,2L$	$L_4 = 0,1L$	$L_5 = 0,35L$
	8,6	6,45	8,6	4,3	15,05

### 3.1. Составление схемы источников загрязнения

Линейная схема источников загрязнения представлена на рисунке 3.1, в котором учтены рассредоточенные источники поступления веществ: болото, лес, луг, сельскохозяйственные угодья, а также сосредоточенные источники: сельский поселок, город, завод, животноводческая ферма. Данная схема составлена на основании плана, полученного в бланке задания.



0,1,2,3,4,5 - расчётные створы

- болото
- пашня (сельхоз угодья)
- лес
- луг

Рисунок 3.1 – Схема источников загрязнения

### 3.2. Расчет объемов загрязняющих веществ с территории водосбора

Определим количество загрязнений, стекающих в реку от всех источников.

#### 3.2.1. Определение объемов азота (фосфора), поступающего с природных объектов

Объем загрязняющих веществ, поступающих с лесных угодий, определяется по зависимости:

$$B_{\text{лес}} = V_i \alpha_i F = 37 \times 0,035 \times 21\,600 = 27\,972 \text{ кг}$$

где  $V_i$  – удельное количество  $i$ -го вещества, поступающего за год в лесную подстилку в зависимости от типа лесных угодий; кг/га;  $\alpha_i$  – коэффициент потерь  $i$ -го вещества при разложении растительного опада; принимается для азота  $\alpha_N = 0,035$ , для фосфора  $\alpha_P = 0,008$ ;  $F$  – площадь лесов, га.

Объем загрязняющих веществ, поступающих с лугов и болот, определяется по зависимости:

$$B_{\text{луг}} = J_{\text{луг}} F_{\text{луг}} = 1,6 \times 33\,750 = 54\,000 \text{ кг}$$

$$B_{\text{бол}} = J_{\text{бол}} F_{\text{бол}} = 4 \times 13\,500 = 54\,000 \text{ кг}$$

где  $J_{ij}$  – удельный вынос  $i$ -го вещества с  $j$ -го вида угодий (луг, болото) за год, кг/га;  $F_j$  – площадь  $j$ -го вида угодий, га.

### 3.2.2. Расчет объемов выноса биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий

Расчет объемов выноса веществ с сельскохозяйственных угодий проводится по формуле:

$$B_{\text{с/х}} = \beta_i \times \rho \times Y \times \eta_i \times F_{\text{с/х}} = 0,16 \times 1 \times 25 \times 2,5 \times 60\,750 = 607\,500 \text{ кг},$$

где  $\beta_i$  – коэффициент миграции веществ из почв в растения;  $\rho$  – коэффициент, учитывающий удаленность с/х угодий от водного объекта, в задании принимается  $\rho = 1$ ;  $Y$  – урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га;  $\eta_i$  – содержание  $i$ -го вещества в растении, кг/ц;  $F_{\text{с/х}}$  – площадь сельскохозяйственных угодий, га.

### 3.2.3. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами водопотребителей

Основными источниками загрязнения водных объектов среди водопотребителей являются:

- коммунально-бытовое хозяйство городов и сел;
- животноводство;
- промышленность.

#### *Коммунально-бытовое хозяйство*

Объем загрязняющих веществ от коммунально-бытового хозяйства (КБХ) (города, села, животноводства) определяется по формулам:

$$B_{\text{ГКБХ}} = q_{\text{ГКБХ}} \times N_{\text{ГКБХ}} = 8,7 \times 200\,000 = 1\,740\,000 \text{ кг};$$

$$B_{\text{СКБХ}} = q_{\text{СКБХ}} \times N_{\text{СКБХ}} = 5,1 \times 2000 = 10\,200 \text{ кг},$$

где  $q_i$  – удельное количество  $i$ -го вещества, поступающего в сточные воды за год от одного человека, кг/год·чел.;  $N_i$  – численность населения, чел.

### *Животноводство*

$$B_{\text{ЖИВ}} = q_{\text{ЖИВ}} \times N_{\text{ЖИВ}} = 41,3 \times 10\,000 = 413\,000 \text{ кг}$$

где  $q_i$  – удельное количество  $i$ -го вещества, поступающего в сточные воды за год от одной головы скота, кг/год·гол.;  $N_i$  – численность поголовья скота, голов.

### *Промышленность*

Для заданного производства определяем забор свежей воды из источника –  $W_{\text{забор}}$ , коэффициент возвратных вод –  $K_{\text{ВВ}}$ , а затем объем возвратных (сбросных) вод –  $W_{\text{ВВ}}$ .

$$W_{\text{забор}} = \frac{q_{\text{свеж.}} \times \Pi}{\text{КПД} \times 10^6} = \frac{390 \times 100}{0,9} = 43\,000 \text{ м}^3$$

$$K_{\text{ВВ}} = \frac{q_{\text{сбр}}}{q_{\text{св}}} = \frac{325}{390} = 0,83$$

$$W_{\text{ВВ}} = W_{\text{заб.}} \times K_{\text{ВВ}} = 43\,000 \times 0,83 = 35\,690 \text{ м}^3$$

где  $q_{\text{св}}$ ,  $q_{\text{сбр}}$  – соответственно, норма забора свежей воды из источника и норма сброса сточных вод на единицу продукции;  $\Pi$  – объем вырабатываемой продукции, тыс. единиц (исходные данные); КПД – коэффициент полезного действия системы водоснабжения; КПД = 0,8–0,9;  $W_{\text{ВВ}}$  – объем возвратных (сточных) вод, м<sup>3</sup>;  $K_{\text{ВВ}}$  – коэффициент возвратных вод.

Используя данные о концентрациях загрязняющих воду веществ ( $C_i$ ), и учитывая долю очищаемых сточных вод ( $\mathcal{E}$ ), определяют объемы азота (фосфора) в сточных водах промышленности по формуле:

$$B_3 = C_i \times W_{\text{ВВ}} (1 - \mathcal{E}) = 4,7 \times 35\,690 (1 - 0,2) = 134\,194 \text{ кг}$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества в сточных водах предприятия, мг/л;  $\mathcal{E}$  – доля очищаемых сточных вод.

### 3.3. Расчет объемов стока воды по длине реки

При расчетах загрязненности природных вод, необходимо знать объемы воды в характерных створах реки, например в местах впадения притоков, в точках водозабора или сброса сточных вод и т. п. Требуемые объемы можно определить, зная модули стока воды с водосборной площади. Для упрощения расчетов, в условиях учебного задания модули стоков для естественных и сельскохозяйственных угодий принимаются, постоянными и равными, по карте изолиний модулей стока [5, приложение 2].

#### 3.3.1. Расчет объемов водопотребления

Объемы водопотребления из реки отраслями определяется по формулам:

➤ коммунально-бытовое хозяйство:

$$W_{\text{ГКБХ}} = \frac{N_{\text{ГКБХ}} \times q_{\text{ГКБХ}} \times t}{\eta_{\text{ГКБХ}}} = \frac{200 \times 250 \times 365}{0,9 \times 10^6} = 20,3 \text{ млн м}^3;$$
$$W_{\text{СКБХ}} = \frac{N_{\text{СКБХ}} \times q_{\text{СКБХ}} \times t}{\eta_{\text{СКБХ}}} = \frac{2 \times 100 \times 365}{0,9 \times 10^6} = 0,8 \text{ млн м}^3,$$

где  $W_{\text{КБХ}}$  – объем водопотребления коммунально-бытовым хозяйством, млн м<sup>3</sup>;  $N_{\text{КБХ}}$  – численность населения на объекте исследования по уровням развития, тыс. чел.;  $q_{\text{КБХ}}$  – удельная норма водопотребления, л/сут. на 1 чел.;  $\eta_{\text{КБХ}}$  – коэффициент полезного действия сети водоснабжения;  $\eta_{\text{КБХ}} = 0,95$ ;  $t$  – период времени за который определяем объем водопотребления,  $t = 365$  сут.

➤ животноводство:

$$W_{\text{ЖИВ}} = \frac{N_{\text{ЖИВ}} \times q_{\text{ЖИВ}} \times t}{\eta_{\text{ЖИВ}}} = \frac{10 \times 100 \times 365}{0,9 \times 10^6} = 0,4 \text{ млн м}^3,$$

где  $W_{\text{ЖИВ}}$  – объем водопотребления для целей животноводства, млн м<sup>3</sup>;  $N_{\text{ЖИВ}}$  – поголовье скота, гол.;  $q_{\text{ЖИВ}}$  – удельная норма водопотребления, л/сут. гол.;  $\eta_{\text{ЖИВ}}$  – коэффициент полезного действия сети водоснабжения,  $\eta_{\text{ЖИВ}} = 0,85$ ;  $t$  – период времени за который определяем объем водопотребления,  $t = 365$  сут.

### 3.3.2. Определение объемов водоотведения

Объемы водоотведения сточных вод в реку (объемы возвратных вод) определяются для водопотребителей в зависимости от коэффициента возвратных вод и объемов водопотребления по формуле:

$$W_{\text{ВВ}}^{\text{ГКБХ}} = W_{\text{ГКБХ}} \times k_{\text{ВВ}}^{\text{ГКБХ}} = 20,3 \times 0,7 = 14,2 \text{ млн м}^3$$

$$W_{\text{ВВ}}^{\text{СКБХ}} = W_{\text{СКБХ}} \times k_{\text{ВВ}}^{\text{СКБХ}} = 0,8 \times 0,6 = 0,5 \text{ млн м}^3$$

$$W_{\text{ВВ}}^{\text{ЖИВ}} = W_{\text{ЖИВ}} \times k_{\text{ВВ}}^{\text{ЖИВ}} = 0,4 \times 0,5 = 0,2 \text{ млн м}^3$$

### 3.3. Расчет безвозвратного водопотребления

Разность между объемом водопотребления и объемом сточных (возвратных) вод это объем безвозвратного водопотребления, который рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{БВП}} = W - W_{\text{ВВ}}, \text{ млн м}^3.$$

Расчет объемов безвозвратного водопотребления сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расчет объемов безвозвратного водопотребления, млн м<sup>3</sup>

Водопотребители	Водопотребление, $W$	Возвратные воды, $W_{\text{ВВ}}$	Объем безвозвратного водопотребления, $W_{\text{БВП}}$
ГКБХ	20,3	14,21	6,09
СКБХ	0,8	0,48	0,32
животноводство	0,4	0,2	0,2
промышленность	0,043	0,036	0,0073
<b>Итого</b>	<b>21,54</b>	<b>14,93</b>	<b>6,62</b>

### 3.3.4. Определение естественного стока водного объекта

Объем стока реки без учета безвозвратного водопотребления определяется по формуле:

$$W_p = q_p \times T \times F = 10 \times 31,54 \times 1350 = 425 \text{ млн м}^3$$

где  $q_p$  – модуль стока воды с водосбора, л/сек·км<sup>2</sup>;  $T$  – число секунд в году,  $T = 31,54 \times 10^6$  сек;  $F$  – площадь водосбора реки, км<sup>2</sup>.

Объемы стока вода в характерных створах реки можно определить по пропорции:

$$W_K = \frac{W_p \times L_K}{L_p}, \text{ млн м}^3$$

где  $W_K, W_p$  – соответственно, объемы воды в  $k$ -ом и заключительном створах реки, млн м<sup>3</sup>;  $L_K, L_p$  – соответственно, длина гидрографической сети для  $k$ -го створа и всей реки.

$$W_{0-1} = \frac{W_p \times L_{0-1}}{L_p} = \frac{425 \times 8,6}{43} = 85 \text{ млн м}^3$$

$$W_{0-2} = \frac{W_p \times L_{0-2}}{L_p} = \frac{425 \times 15,05}{43} = 148,75 \text{ млн м}^3$$

$$W_{0-3} = \frac{W_p \times L_{0-3}}{L_p} = \frac{425 \times 23,65}{43} = 233,75 \text{ млн м}^3$$

$$W_{0-4} = \frac{W_p \times L_{0-4}}{L_p} = \frac{425 \times 27,95}{43} = 276,25 \text{ млн м}^3$$

$$W_{0-5} = \frac{W_p \times L_{0-5}}{L_p} = \frac{425 \times 43}{43} = 425 \text{ млн м}^3$$

Изменение объемов стока воды по длине реки представлено на рисунке 3.2. Расчеты объемов стока проведены для створов, в которых изменяется вид угодий и где осуществляется безвозвратное водопотребление.

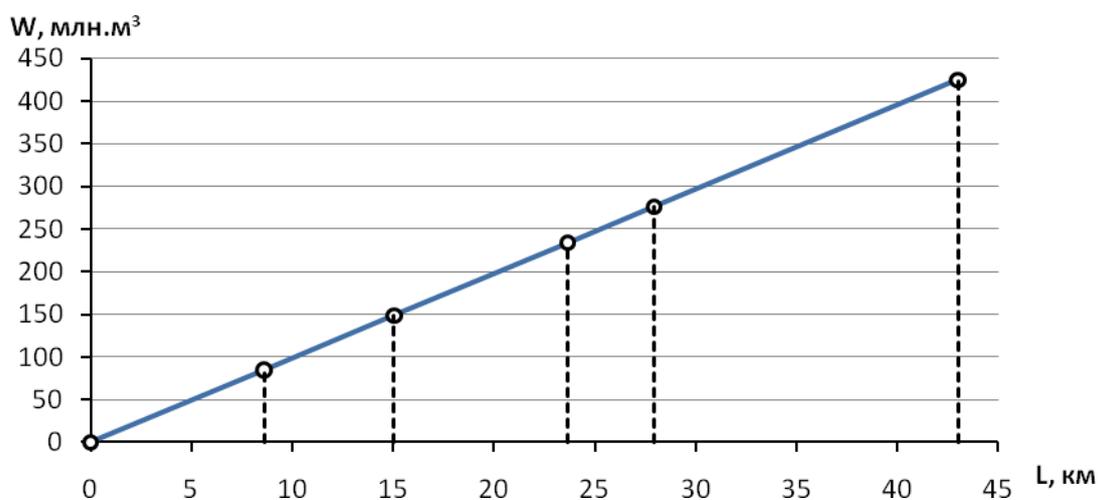


Рисунок 3.2 – Распределение естественного стока по длине реки

Объемы стока воды в расчетных створах с учетом водопотребления рассчитаны по формуле:

$$W_p^{K'} = W_p^K - W_{\text{БВП}} \text{ млн м}^3$$

Данные вычисления проводятся для створов 3,4,5 (см. рисунок 3.3.).

Створ 3':  $W_3' = W_{0-3} = 233,75 \text{ млн м}^3$

Створ 3:

$$W_3^{\text{БВП}} = W_3' - W_{\text{БВП}} = W_3' - (W_{\text{БВП}}^{\text{СКБХ}} + W_{\text{БВП}}^{\text{ЖИВ}}) = 233,75 - (0,32 + 0,2) = 233,23 \text{ млн м}^3$$

Створ 4':

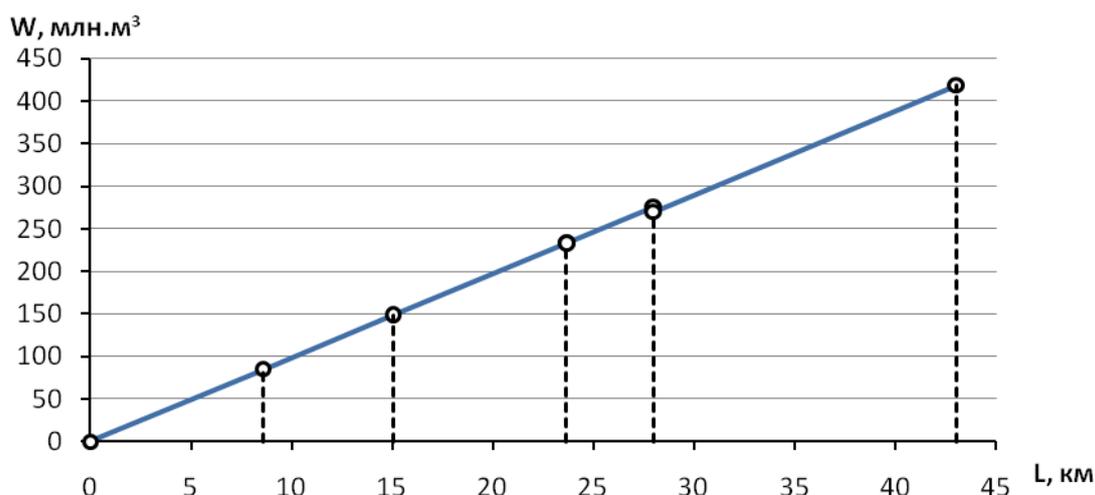
$$W_4' = W_{0-4} - W_{\text{БВП}} = W_{0-4} - (W_{\text{БВП}}^{\text{СКБХ}} + W_{\text{БВП}}^{\text{ЖИВ}}) = 276,25 - (0,32 + 0,2) = 275,73 \text{ млн м}^3$$

Створ 4:

$$W_4^{\text{БВП}} = W_4' - W_{\text{БВП}} = W_4' - (W_{\text{БВП}}^{\text{ГКБХ}} + W_{\text{БВП}}^{\text{ПРОМ}}) = 275,73 - (6,09 + 0,007) = 269,63 \text{ млн м}^3$$

Створ 5:

$$W_5^{\text{БВП}} = W_p - \sum W_{\text{БВП}} = 425 - 6,62 = 418,4 \text{ млн м}^3$$



**Рисунок 3.3 – Распределение стока реки с учетом безвозвратного водопотребления**

### 3.3.5. Расчет изменения объемов азота (фосфора) по длине реки

Построение эпюры изменения объемов азота (фосфора) по длине реки проводится на основе сложения объемов поступающих веществ. При этом изменяется угол наклона кривой объемов в местах изменения вида угодий, а в точках поступления сосредоточенных стоков появляется скачек.

Створ 1:

$$B_1 = B_{\text{бол}} + B_{\text{лес}} = B_{\text{бол}} + B_{\text{лес}}^{0-1} = 54\,000 + 27\,972 \times \frac{2}{12} = 58\,662 \text{ кг}$$

Створ 2:

$$B_2 = B_1 + B_{\text{лес}} = B_1 + B_{\text{лес}}^{1-2} = 58\,662 + 27\,972 \times \frac{10}{12} = 81\,972 \text{ кг}$$

Створ 3':

$$B'_3 = B_2 + B_{\text{луг}} + B_{\text{с/х}} = B_2 + B_{\text{луг}}^{2-3} + B_{\text{с/х}}^{2-3} = 81\,972 + \\ + (54\,000 + 607\,500) \times \frac{6}{31} = 210\,004 \text{ кг}$$

Створ 3:

$$B_3 = B'_3 + B_{\text{СКБХ}} + B_{\text{ЖИВ}} = 210\,004 + 10\,200 + 413\,000 = 633\,204 \text{ кг}$$

Створ 4':

$$B'_4 = B_3 + B_{\text{луг}} + B_{\text{с/х}} = B_3 + B_{\text{луг}}^{3-4} + B_{\text{с/х}}^{3-4} = 633\,204 + \\ + (54\,000 + 607\,500) \times \frac{20}{31} = 1\,059\,978,2 \text{ кг}$$

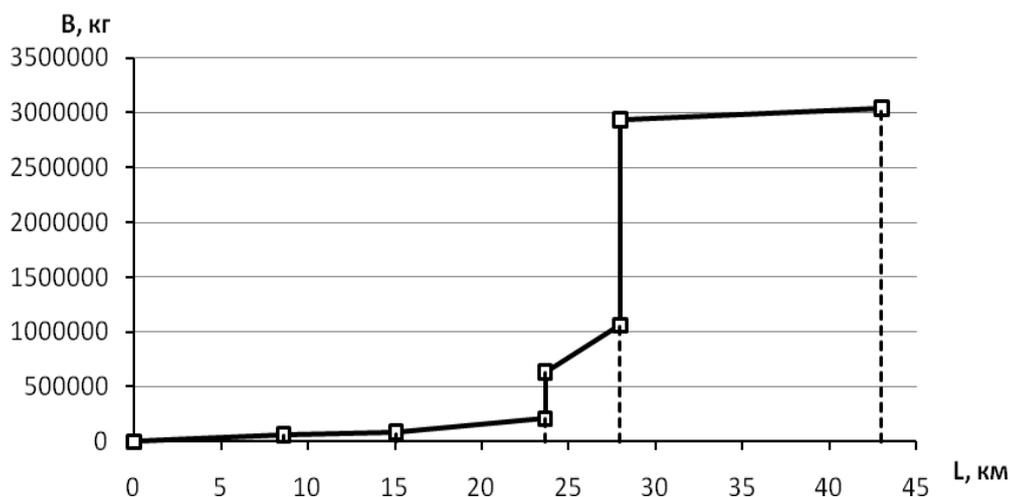
Створ 4:

$$B_{\text{бол}} = 55,2$$

Створ 5:

$$B_5 = B_4 + B_{\text{луг}} + B_{\text{с/х}} = B_3 + B_{\text{луг}}^{4-5} + B_{\text{с/х}}^{4-5} = 2\,934\,172,2 + \\ + (54\,000 + 607\,500) \times \frac{5}{31} = 3\,040\,865,7 \text{ кг}$$

Результаты расчетов представлены на рисунке 3.4.



**Рисунок 3.4 – Распределение по длине реки объемов азота**

### **3.4. Расчет изменения концентрации азота (фосфора) по длине реки**

Расчет концентраций азота (фосфора) в речной воде проводится для расчетных створов по формуле:

$$C_n^i = \frac{B_n^i}{W_p^{БВП} \times 10^3}, \text{ мг/л,}$$

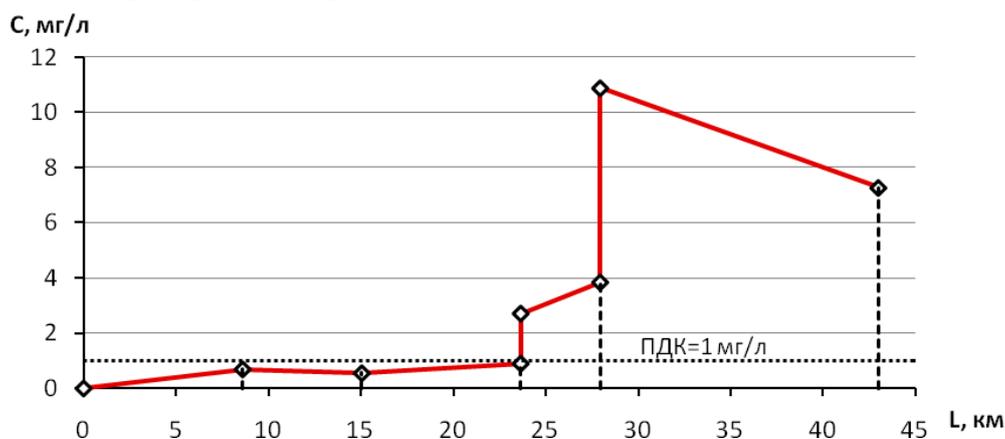
где  $C_n^i$  – концентрация  $i$ -го вещества в  $n$ -ом створе реки;  $B_n^i$  – объем  $i$ -го вещества, поступившего в реку до  $n$ -го створа, кг;  $W_p^{БВП}$  – объем стока воды в реке в  $n$ -ом створе с учетом безвозвратного водопотребления, млн м<sup>3</sup>.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.2.

**Таблица 3.2– Расчет концентраций азота в расчетных створах реки**

Номер створа	Объем стока воды, $W_i$ , млн м <sup>3</sup>	Объем веществ, $B_i$ , кг	Концентрации, $C_i$ , мг/л
1	85	58 662	0,690
2	148,75	81 972	0,551
3'	233,75	210 004	0,898
3	233,23	633 204	2,715
4'	275,73	1 059 978,2	3,844
4	269,63	2 934 172,2	10,882
5	418,4	3 040 865,7	7,268

По результатам расчетов таблицы 3.2 строим график распределения концентрации загрязняющих веществ по длине реки без водоохраных мероприятий рисунок 3.5.



**Рисунок 3.5 – Распределение концентраций азота по длине реки без учета водоохраных мероприятий**

### 3.5. Оценка загрязненности водного объекта

Оценка загрязненности водного объекта проводится на основе сравнения концентраций веществ в речной воде с предельно – допустимыми концентрациями загрязняющих веществ для водных объектов. Последние должны учитывать сохранение устойчивости водных экологических систем, в частности недопущения эвтрофирования воды.

**Таблица 3.3 – Характеристика стадий развития водного объекта (по Н. И. Хрисанову) и пригодность воды для водопользования (по Николаеву С. Г.)**

Стадии развития водного объекта	Концентрации, мг/л		Использование воды
	Азот	Фосфор	
Олиготрофная	0,0–0,60	0,00–0,008	Все виды водопользования
Мезотрофная	0,6–0,75	0,008–0,02	Все виды водопользования. Для питьевого водоснабжения с предварительной очисткой
Эвтрофная	0,75–1,87	0,02–0,08	Ограниченное рыбоводство, техническое водоснабжение
Дистрофная	1,87	0,08	Техническое водоснабжение с предварительной очисткой

Результаты расчетов таблицы 5.1 показывают, что на участках реки 3-5 отмечается превышение  $ПДК_N = 1$  мг/л ( $ПДК_P = 0,03$  мг/л),

обращаясь к таблице 3.3 делаем вывод, что водный объект относится к дистрофной стадии и использовать воду данного объекта возможно только для технического водоснабжения и только с предварительной очисткой.

В связи с этим заключением приходим к выводу о необходимости предусмотреть водоохранные мероприятия с целью снижения концентрации загрязняющих веществ в воде до допустимого уровня.

### 3.6. Водоохранные мероприятия

На сбросных сооружениях города и промышленного объекта предусматриваем устройство сооружений полной биологической очистки. Эффективность очистки стоков  $\mathcal{E}_{оч} = 95 \%$ .

Для снижения опасности загрязнения реки сточными водами поселка и фермы рассмотрим обвалование территории фермы и устройством отстойников сточных вод на ферме и в поселке. Экологическая эффективность данных мероприятий  $\mathcal{E}_{об} = 60 \%$ ,  $\mathcal{E}_{от} = 70 \%$ .

Для предотвращения загрязнения реки стоками с сельскохозяйственных угодий предусмотрим устройство водоохранной зоны шириной 50 м, считая, что ее экологическая эффективность  $\mathcal{E}_{воз} = 80 \%$  [14, 16, 18, 19].

Створ 1:  $B_1 = 58\ 662$  кг

Створ 2:  $B_2 = 81\ 972$  кг

Створ 3':

$$B'_3 = B_2 + (B_{луг}^{2-3} + B_{с/х}^{2-3}) \times (1 - \mathcal{E}_{воз}) = 81\ 972 + (54\ 000 + 607\ 500) \cdot$$

$$\times (1 - 0,8) \times \frac{6}{31} = 107\ 578,5 \text{ кг}$$

Створ 3:

$$B_3 = B'_3 + (B_{СКБХ} + B_{жив}) \times (1 - \mathcal{E}_{об}) \times (1 - \mathcal{E}_{от}) = 107\ 578,5 +$$

$$+ (10\ 200 + 413\ 000) \times (1 - 0,7) \times (1 - 0,6) = 158\ 362,5 \text{ кг}$$

Створ 4':

$$B'_4 = B_3 + (B_{луг}^{3-4} + B_{с/х}^{3-4}) \times (1 - \mathcal{E}_{воз}) = 158\ 362,5 + (54\ 000 + 607\ 500) \times$$

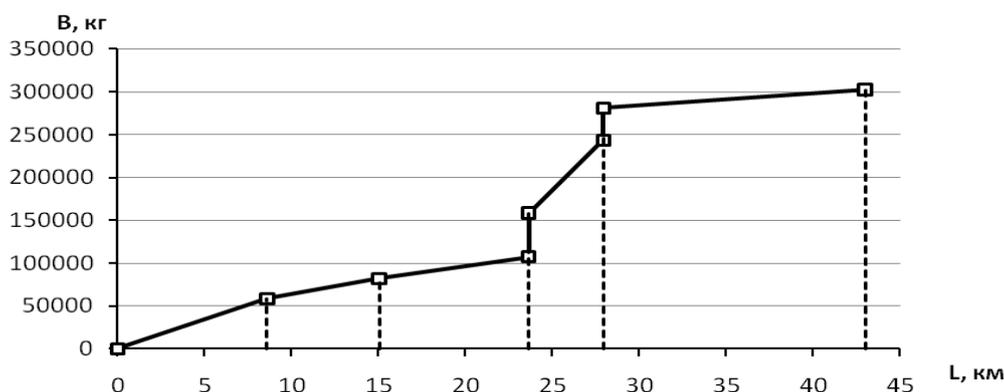
$$\times \frac{20}{31} \times (1 - 0,8) = 243\ 717,3 \text{ кг}$$

Створ 4:

$$B_4 = B'_4 + (B_{ГКБХ} + B_3) \times (1 - \mathcal{E}_{оч}) \times (1 - \mathcal{E}_{биопл}) = 243\,717,3 + \\ + (1\,740\,000 + 134\,194) \times (1 - 0,95) \times (1 - 0,6) = 281\,201,2 \text{ кг}$$

Створ 5:

$$B_5 = B_3 + (B_{\text{луг}}^{4-5} + B_{\text{с/х}}^{4-5}) (1 - \mathcal{E}_{\text{воз}}) = 281\,201,2 + (54\,000 + 607\,500) \times \\ \times \frac{5}{31} \times (1 - 0,8) = 302\,539,9 \text{ кг}$$



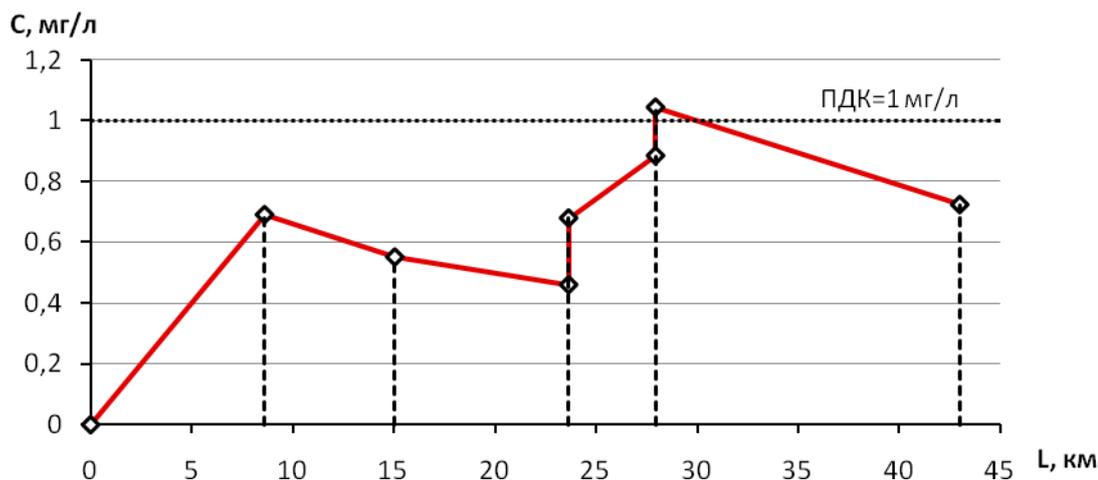
**Рисунок 1.6 – Распределение по длине реки объемов азота с учетом водоохранных мероприятий**

### 3.7. Определение изменения концентрации азота (фосфора) по длине реки с учетом водоохранных мероприятий

Расчет концентрации загрязняющих веществ проводим аналогичным образом как в п. 4.

**Таблица 3.4 – Расчет концентраций азота (фосфора) с учетом водоохранных мероприятий**

Номер створа	Объем стока воды, $W_i$ , млн м <sup>3</sup>	Объем веществ, $B_i$ , кг	Концентрации, $C_i$ , мг/л
1	85	58 662	0,690
2	148,75	81 972	0,551
3'	233,75	107 578,5	0,460
3	233,23	158 362,5	0,679
4'	275,73	243 717,3	0,884
4	269,63	281 201,2	1,043
5	418,4	302 539,9	0,723



**Рисунок 3.5 – Распределение концентраций азота по длине реки с учетом водоохраных мероприятий**

### **Выводы**

С учетом всех предложенных мероприятий результаты расчетов показывают, что превышений ПДК на всем протяжении реки не наблюдается.

Наибольшую опасность загрязнения представляют сточные воды города и животноводческой фермы, на долю которых приходится соответственно 57 и 14 % поступающего в реку фосфора, с сельскохозяйственных угодий 20 %. Объемы веществ, поступающие с естественных угодий, составляют 4,5 %.

С учетом всех предложенных мероприятий результаты расчетов показывают, что превышение ПДК на всем протяжении реки не наблюдается, кроме створа 4, где повышенная концентрация обосновывается интенсивным развитием отраслей коммунально-бытового хозяйства и промышленности.

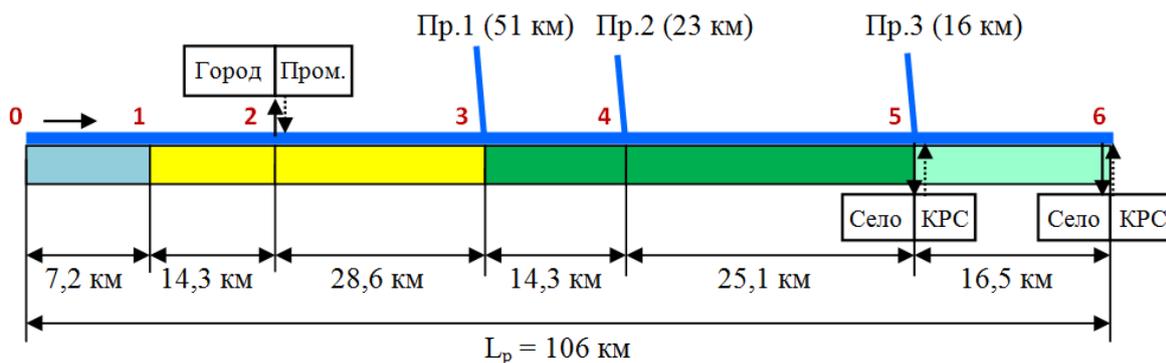
Вода водного объекта соответствует мезотрофной стадии. Это говорит о возможности применения воды для технических целей без очистки и хозяйственно-питьевого водоснабжения с предварительной очисткой.

#### **4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ ДЛЯ РЕКИ С ПРИТОКАМИ**

Для расчета концентраций загрязняющих веществ (фосфора) по длине реки, имеющей притоки, рассматривается другая река длиной 106 км.

Источники поступления загрязняющих веществ подразделяются на сосредоточенные и рассредоточенные. Фосфор рассматривается в качестве лимитирующего вещества, так как превышение концентрации фосфора сверх допустимых нормативов меняет стадию трофности объекта и приводит к эвтрофированию.

Для выполнения расчетов составлена схема источников загрязнения реки. Для этого на рисунке 30 выполнена схема источников поступления загрязняющих веществ в водный объект. В расчете учтены основные притоки реки протяженностью 51 км, впадающий в реку в 1,5 км северо-восточнее деревни (23 км), впадающая (16 км), впадающая близ.



0,1,2,3,4,5,6 - расчётные створы

- болото

- пашня

- лес

- луг

**Рисунок 4.1 – Схема поступления загрязнений в реке**

#### 4.1. Определение объемов загрязняющих веществ

##### 1) С природных угодий

- с лесных угодий

$$B_{л} = V\alpha F_{л}, \text{ кг}$$

где  $V$  – удельное количество фосфора, поступающего за год на лесную подстилку,  $V = 5,4$  кг/га – для смешанных лесов;  $\alpha$  – коэффициент потерь  $i$ -ого вещества при разложении растительного слоя,  $\alpha = 0,008$ ;  $F_{л}$  – площадь лесных угодий;  $F_{л} = 57\,960$  га

$$B_{л} = 5,4 \times 0,008 \times 57\,860 = 2499,55 \text{ кг}$$

- с луговых угодий и болот

$$B_{луг} = jF, \text{ кг}$$

где  $j$  – удельный вынос фосфора с территории;  $j_{л} = 0,04$  кг/га;  $F$  – площадь лугов и болот;  $F_{луг} = 12\,420$  га;  $F_{бол} = 1380$  га

$$B_{луг} = 0,04 \times 12\,420 = 496,8 \text{ кг}$$

$$B_{бол} = 55,2 \text{ кг}$$

## 2) С сельскохозяйственных угодий

$$B_{c/x} = \alpha \rho Y \eta F_{c/x},$$

где  $\alpha$  – коэффициент миграции фосфора из почв, зависящий от типа почвы,  $\alpha = 0,15$ ;  $\rho$  – коэффициент, учитывающий удаленность сельскохозяйственных угодий от водного объекта,  $\rho = 1$ ;  $Y$  – урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га;  $Y = 40$  ц/га;  $\eta$  – содержание фосфора в растениях, кг/ц;  $\eta = 0,8$  кг/ц;  $F_{c/x}$  – площадь сельскохозяйственных угодий,  $F_{c/x} = 55\,200$  га;

$$B_{c/x} = 0,15 \times 0,1 \times 40 \times 0,8 \times 55\,200 = 26\,496 \text{ кг}$$

## 4.2. Определение объемов загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами водопотребителей

$$B_{кбх} = qN, \text{ кг}$$

где  $q$  – удельное количество фосфора, поступающего в сточные воды за год от одного человека или от одной головы скота,  $q_{гор} = 1$  кг;  $q_{село} = 0,5$  кг;  $q_{жив} = 4,5$  кг;  $N$  – численность населения или численность поголовья скота;

$$B_{скбх} = 0,5 \times 28\,061,62 = 14\,030,81 \text{ кг}$$

$$B_{гкбх} = 1 \times 97\,652,47 = 97\,652,47 \text{ кг}$$

$$B_{жив} = 4,5 \times 13\,110 = 58\,995 \text{ кг}$$

$$B_{пром} = 1000 C_i W_{вв} (1 - \Xi),$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го вещества 0,6 мг/л;  $W_{вв}$  – объем возвратных вод,  $W_{вв} = 6,4448$  млн м<sup>3</sup>;  $\Xi$  – доля очищенных сточных вод,  $\Xi = 0,7$ ;

$$B_{пром} = 1000 \times 0,6 \times 6,4448 (1 - 0,7) = 1169,1, \text{ кг}$$

Поступление загрязнений с дренажным стоком (с осушаемых территорий):

$$B_{др.} = C W_{др.} = 0,05 \times 0,024 \times 1000 = 12 \text{ кг}$$

## 4.3. Расчет объемов стока воды по длине реки

В расчете принята линейная зависимость объемов стока воды для характерных створов.

$$W_k = W_p \frac{L_k}{L_p},$$

где  $W_p$  – объем стока воды в заключительном створе;  $W_k$  – объем стока воды в каждом створе;  $L_k$  – длина реки от нулевого до  $k$ -го створа;  $L_p$  – длина всей реки с притоками

$$L_p = 7,2 + 14,3 + 28,6 + 14,3 + 25,1 + 16,5 = 106 \text{ км};$$

$$W_1 = 149 \frac{7,2}{196} = 5,47 \text{ млн м}^3$$

$$W_2 = 149 \frac{14,3 + 7,2}{106 + 51 + 16 + 23} = 16,34 \text{ млн м}^3$$

$$W_2' = W_2 + 8,875 + 6,4448 - 11,16 = 16,34 + 4,1598 = 20,5 \text{ млн м}^3$$

$$W_3 = 149 \frac{7,2 + 14,3 + 28,6}{196} = 42,25 \text{ млн м}^3$$

$$W_4 = 149 \frac{7,2 + 14,3 + 28,6 + 14,3}{145} = 62,94 \text{ млн м}^3$$

$$W_5 = 149 \frac{7,2 + 14,3 + 28,6 + 14,3 + 25,1}{122} = 113,47 \text{ млн м}^3$$

$$W_5' = 109,31 + 0,132 + 0,12 = 113,47 \text{ млн м}^3$$

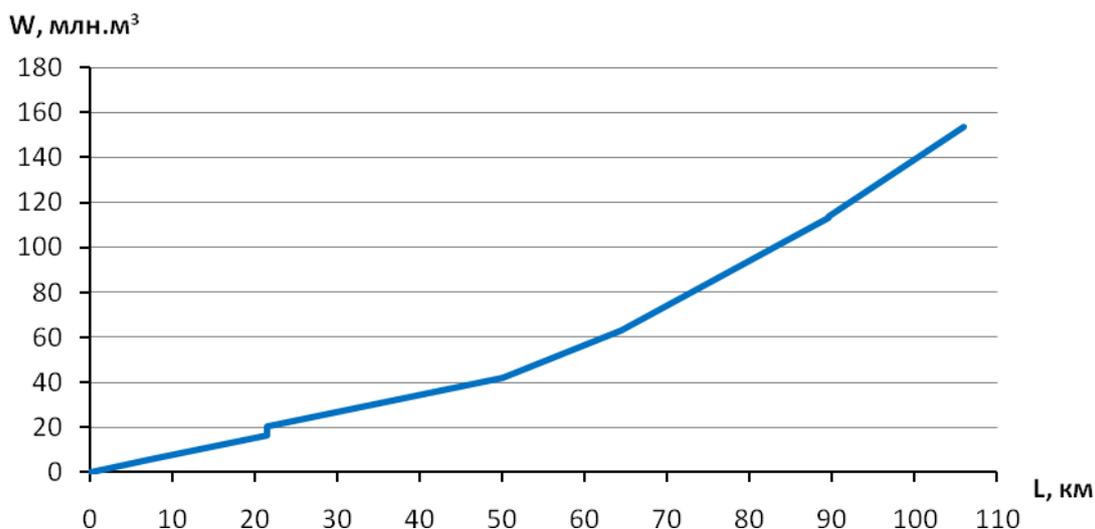
$$W_6 = 149 \frac{106}{106} = 153,53 \text{ млн м}^3$$

$$W_6' = 149 \frac{106}{106} + 0,132 + 0,12 + 0,24 = 153,652 \text{ млн м}^3$$

Объем стока реки  $W_{pi}$ , млн м<sup>3</sup>:

$$W_{\text{оби}} = W_i W_{\text{вби}}$$

- КБХ –  $W_{\text{бв}} = 8,875 \text{ млн м}^3$
- промышленность –  $W_{\text{бв}} = 4,71 \text{ млн м}^3$
- животноводство –  $W_{\text{бв}} = 0,17 \text{ млн м}^3$
- осушение –  $W_{\text{бв}} = 0,24 \text{ млн м}^3$



**Рисунок 4.2 – Эмпора изменения объемов стока воды с учетом безвозвратного водопотребления**

Расчет объемов загрязняющих веществ на  $i$ -ом створе (до проведения водоохранных мероприятий).

$$B_1 = B_{\text{бол}} = 52,5 \text{ кг}$$

$$B_2 = B_1 + B_{\text{сх}} \frac{l_2}{l_{\text{сх}}} = 52,5 + 264\,960 \frac{14,3}{41,1} = 92\,240,53 + 52,5 = 92\,293,03 \text{ кг}$$

$$B'_2 = B_2 + B_{\text{ГКХБ}} + B_{\text{пр}} = 92\,293,03 + 97\,652,47 + 1169,1 = 191\,114 \text{ кг}$$

$$B_3 = B'_2 + B_{\text{с/х}} \frac{l_3}{l_{\text{с/х}}} = 191\,114,6 + 26\,496 \frac{26,8}{41,1} = 36\,388,6 \text{ кг}$$

$$B_4 = B_3 + B_{\text{лес}} \frac{l_4}{l_{\text{лес}}} = 236\,388,6 + 2488,55 \frac{14,3}{39,4} = 236\,478 \text{ кг}$$

$$B_5 = B_4 + B_{\text{лес}} \frac{l_5}{l_{\text{лес}}} = 236\,478 + 2488,55 \frac{25,1}{39,4} = 236\,637 \text{ кг}$$

$$B'_5 = B_5 + \frac{1}{2} B_{\text{СКХБ}} + \frac{1}{2} B_{\text{жив}} = 236\,637 + \frac{1}{2} 14030,71 + \frac{1}{2} 58\,995 = 240\,288 \text{ кг}$$

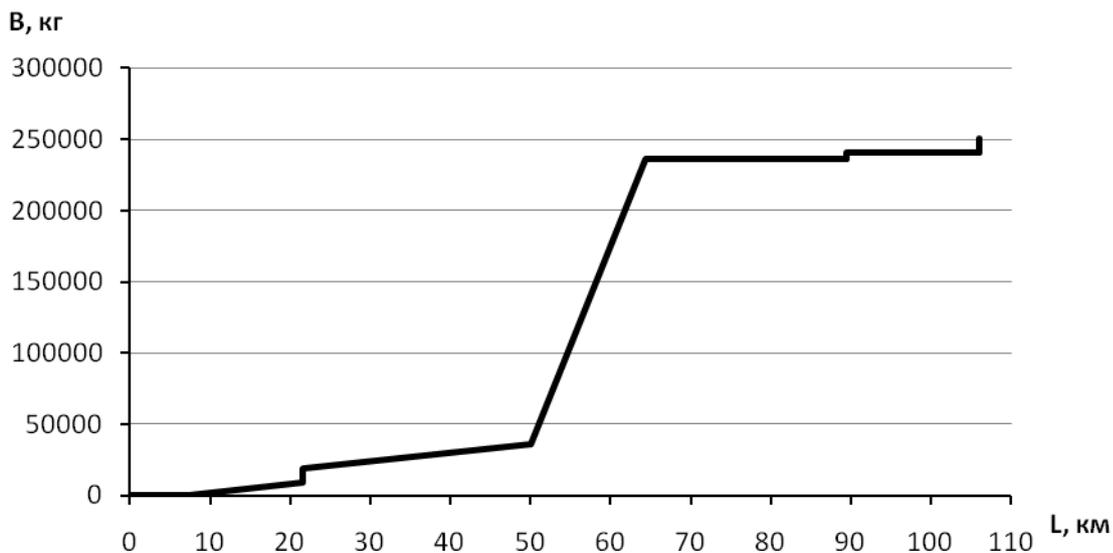
$$B_6 = B'_5 + B_{\text{луг}} = 240\,288 + 49\,668 = 240\,338 \text{ кг}$$

$$B'_6 = B_6 + \frac{1}{2} B_{\text{СКХБ}} + \frac{1}{2} B_{\text{жив}} = 240\,338 + \frac{1}{2} 14\,030,71 + \frac{1}{2} 58\,995 = 250\,304 \text{ кг}$$

Расчет объемов загрязняющих веществ на  $i$ -ом створе (до мероприятий).

$$B_1 = B_{\text{бол}} = 52,5 \text{ кг}$$

$$\begin{aligned}
B_2 &= B_1 + B_{\text{cx}} \frac{l_2}{l_{\text{cx}}} = 52,5 + 26\,496(1-0,8)(1-0,5)(1-0,6)(1-0,4) \frac{14,3}{41,1} = \\
&= 174 + 52,5 = 226,5 \text{ кг} \\
B'_2 &= B_2 + B_{\text{ГКХБ}} + B_{\text{пр}} = 226,5 + 0 + 0 = 226,5 \text{ кг} \\
B_3 &= B'_2 + B_{\text{c/x}} \frac{l_3}{l_{\text{c/x}}} = 226,5 + 26\,496 \times 0,2 \times 0,5 \times 0,4 \times 0,6 \frac{26,8}{41,1} = 641,1 \text{ кг} \\
B_4 &= B_3 + B_{\text{лес}} \frac{l_4}{l_{\text{лес}}} = 641,1 + 2488,55 \frac{14,3}{39,4} = 731,4 \text{ кг} \\
B_5 &= B_4 + B_{\text{лес}} \frac{l_5}{l_{\text{лес}}} = 731,4 + 2488,55 \frac{25,1}{39,4} = 1395,8 \text{ кг} \\
B'_5 &= B_5 + \frac{1}{2} B_{\text{СКХБ}} + \frac{1}{2} B_{\text{жив}} = 1395,8 + 0 + 0 = 1395,8 \text{ кг} \\
B_6 &= B'_5 + B_{\text{луг}} = 1445,88 \text{ кг} \\
B'_6 &= B_6 + \frac{1}{2} B_{\text{СКХБ}} + \frac{1}{2} B_{\text{жив}} = 1445,88 + 0 + 0 = 1445,88 \text{ кг}
\end{aligned}$$



**Рисунок 4.3 – Эпюра изменения объемов загрязняющих веществ (фосфора) по длине реки без ВОМ**

#### **4.4. Расчет концентрации загрязняющих веществ по длине реки**

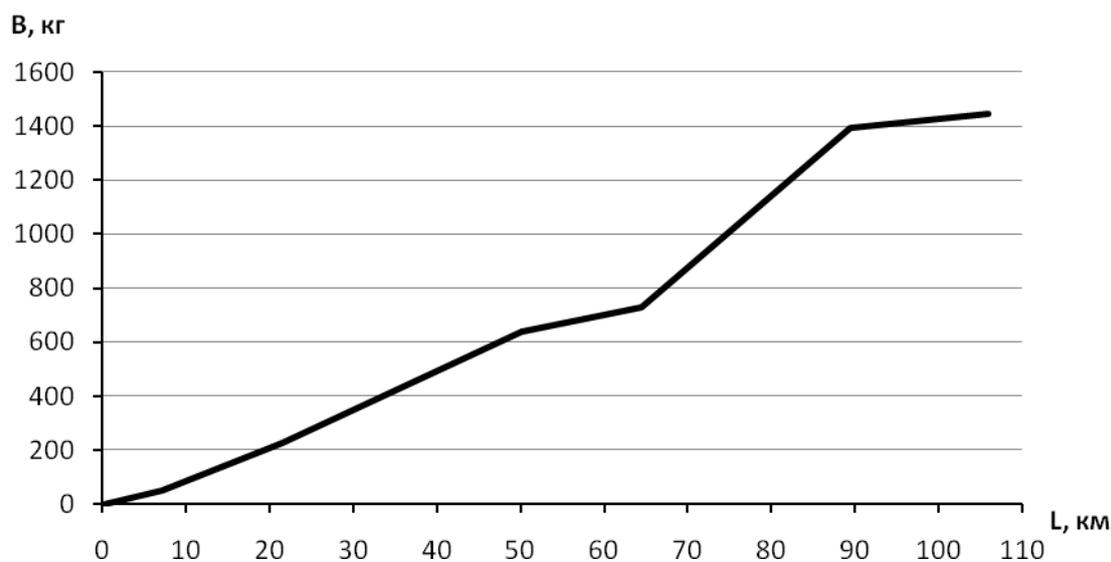
$$C_i = \frac{B_i}{1000W_i},$$

где  $B_i$  – объем загрязняющих веществ в  $i$ -ом створе, кг;  $W_i$  – объем стока реки.

**Таблица 4.1 – Расчет концентрации загрязняющих веществ по створам**

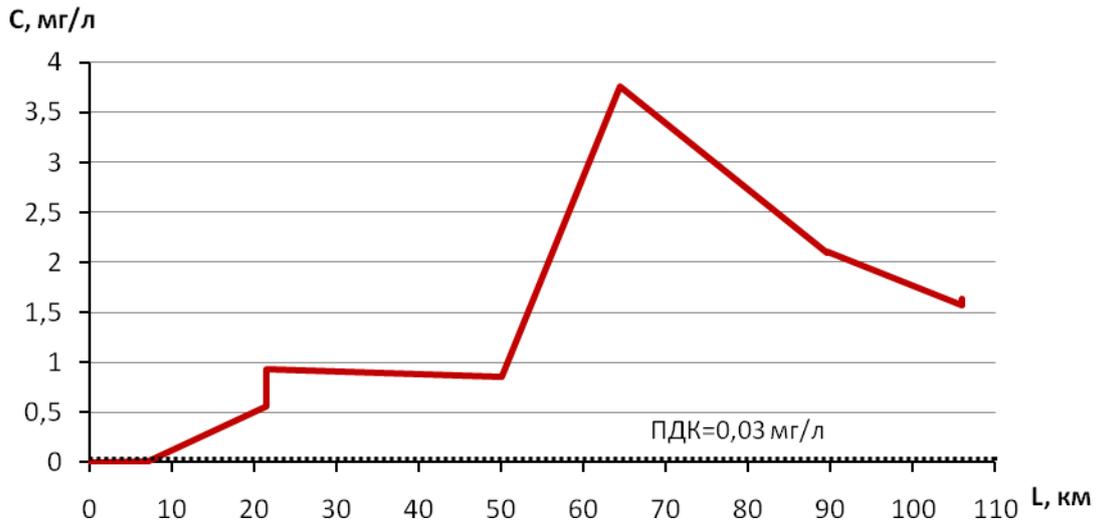
Номер створа	$B_i$ , кг	$B_i'$ , кг	$W_i$ , млн м <sup>3</sup>	$C_i$ , мг/л	$C_i'$ , мг/л
0	0	0	0	0	0
1	52,5	52,5	5,47	0,01	0,010
2	9229,3	226,5	16,34	0,56	0,014
2'	19111,5	226,5	20,5	0,93	0,011
3	36388,7	641,1	42,25	0,86	0,015
4	236479	731,4	62,94	3,76	0,012
5	236637	1395,8	113,47	2,09	0,012
5'	240289	1395,8	113,72	2,11	0,012
6	240338	1445,9	153,53	1,57	0,009
6'	250305	1445,9	153,65	1,63	0,009

$C_i'$  – концентрация загрязняющих веществ по длине реки с учетом водоохранных мероприятий (ВОМ).

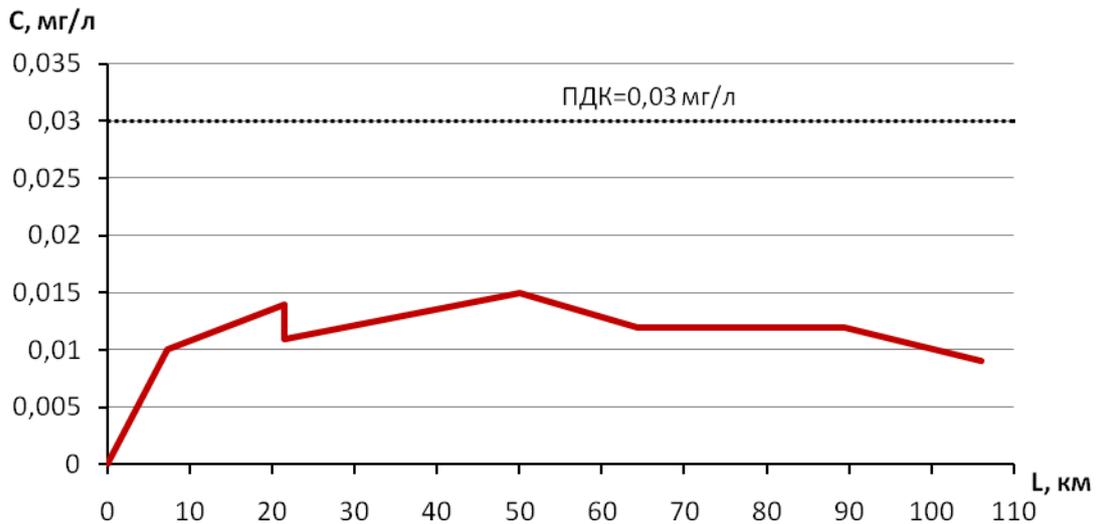


**Рисунок 4.4 – Эпюра изменения объемов загрязняющих веществ (фосфора) по долине реки с учетом ВОМ**

Эпюры изменения концентраций фосфора в речной воде приведены на рисунке 4.5, а с учетом ВОМ на рисунке 4.6.



**Рисунок 4.5 – Эпюра изменения концентрации фосфора в речной воде по длине реки без ВОМ**



**Рисунок 4.6 – Эпюра изменения концентрации фосфора в речной воде с ВОМ**

#### 4.5. Оценка загрязненности водного объекта

Оценка проведена на основе полученных концентраций фосфатов в речной воде и сравнении их с ПДК, соответствующей рыбохозяйственной категории водопользования ( $\text{ПДК}_{\text{фосфор}} = 0,03 \text{ мг/л}$ ).

**Таблица 4.2 – Стадии развития водного объекта и пригодность воды для использования [28]**

Стадии развития	C, мг/л	Использование воды
Олиготрофные	0–0,02	Все виды использования
Мезотрофные	0,03–0,08	Все виды водопользования, питьевое водоснабжение с предварительной очисткой
Эвтрофные	0,08–0,2	Ограниченное рыбоводство, техническое водоснабжение
Дистрофные	>0,2	Техническое водоснабжение с предварительной очисткой

### **Вывод**

Без учета водоохранных мероприятий и самоочищения реки, на всех ее участках (кроме нулевого, первого и второго) наблюдается превышение ПДК. На этих участках река находится в дистрофной стадии развития с использованием воды для технического водоснабжения с предварительной очисткой. С учетом водоохранных мероприятий концентрация фосфора в речной воде не превышает ПДК и относится к олиготрофной стадии развития.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атласы. Россия как система [Электронный ресурс]. URL: <http://vce-besplatno.ru/3550-fgup-gogiscentr-atlas-rossii-toma-1-32005-2009isomdf.html>.

2. Гордеев Л. В., Клещенко О. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д. Биоклиматический потенциал России: теория, практика. М. : ООО Товарищество научных изданий КМК, 2006. 512 с. ISBN 5-87317-304-4.

3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 28.11.2015) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2016).

4. Водохозяйственные системы и водопользование: учебник / под общ. ред. проф. Л.Д. Ратковича и проф. В.Н. Маркина. М. : ИНФРА-М, 2019. 452 с.

5. Гидрографические характеристики речных бассейнов Европейской территории СССР / Под ред. к.г.н. В. В. Куприянова. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1971. 98 с.

6. Глазунова И. В., Матвеева Т. И. Анализ влияния лесомелиорации речного бассейна на водный баланс и формирование поверхностного стока / В сб.: Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения): Материалы международной научно-практической конференции. М. : РГАУ-МСХА, 2020. С. 18–22.

7. ГОСТ Р 51232–98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003120>.

8. Гражданская защита: Энциклопедия в 4 томах. Том I (А–И); под общей редакцией С. К. Шойгу; МЧС России. М. : Московская типография № 2, 2006 [Электронный ресурс]. URL: <https://fireman.club/inseklodepia/zagryaznenie-vodnyx-obektov/fireman.club>.

9. Беглярова Э. С., Соколова С. А., Бакштанин А. М. Изменение показателей загрязнения поверхностного стока городских территорий при проведении строительных работ на примере частных водосборов рек Лихоборка и Жабенка // Гидротехническое строительство. 2020. № 11. С. 48–52.

10. Глазунова И. В., Воронина К. П., Барсукова М. В. Исследование эффективности водоохраных мероприятий в условиях ин-

тенсивной антропогенной нагрузки на реку Яuzu // Научно-прикладной журнал Природообустройство. М. : РГАУ–МСХА, 2018. № 3. С. 40–46.

11. Мелиорация и водное хозяйство. Т.5. Водное хозяйство: Справочник / Бородавченко И. И., Кишинский Ю. А., Шикломанов И. А. и др.; Под редакцией Бородавченко И. И. М. : Агропромиздат, 1988. 399 с.

12. Правила охраны поверхностных водных объектов. Постановление от 10 сентября 2020 года № 1391 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74526856/>.

13. Глазунова И. В., Раткович Л. Д., Соколова С. А. Проектирование биоинженерных сооружений в составе схем комплексного использования водных ресурсов: Учебное пособие. М. : МГУП, 2011. 63 с.

14. Маркин В. Н., Раткович Л. Д., Соколова С. А. Обоснование водохозяйственных мероприятий в бассейне реки: учебное пособие. М. : МГУП, 2006. 77 с.

15. Овчаров Е. Е., Захаровская Н. Н., Прошляков И. В. и др. Практикум по инженерной гидрологии и регулированию стока: Учебное пособие. Минск : Наука, 2008. 224 с.

16. Дмитриева А. В., Соколова С. А., Глазунова И. В. Основы проектирования водоохраных зон и прибрежных защитных полос: уч. пособие. М. : РГАУ–МСХА, 2016. 87 с.

17. Глазунова И. В., Маркин В. Н., Раткович Л. Д., Федоров С. А., Шабанов В. В. Оценка и баланс ресурсов речного бассейна. Учебное пособие. М. : МГУП, 2012. 104 с.

18. Маркин В. Н., Раткович Л. Д., Соколова С. А. Разработка водохозяйственных мероприятий в бассейне реки: учебное пособие. М. : МГУП, 2009. 100 с.

19. Маркин В. Н., Раткович Л. Д., Федоров С. А. Разработка мероприятий по комплексному использованию и охране водных объектов в бассейне реки: учебное пособие. М. : ФГОУ ВПО МГУП, 2011. 101 с.

20. Реймерс Н. Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М. : Мысль 1990. 637 с.

21. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению,

атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8>.

22. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» Введ. 26.09.2001, с 1 января 2002 года. 90 с.

23. СНиП 2.04.02.-84. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001008>.

24. СНиП 2.04.03.-85\*. Канализация. Наружные сети и сооружения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554820821>.

25. СП 33-101-2003. Определение основных гидрологических характеристик [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035578>.

26. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ (с изменениями на 2 июля 2021 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401322456/>.

27. Удельные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. М. : Стройиздат, 1978. 590 с.

28. **Хрисанов Н. И., Осипов Г. К.** Управление эвтрофированием водоемов. СПб : Гидрометеоздат, 1993. 278 с.

29. **Шашко Д. И.** Агроклиматическое районирование СССР. – М. : Колос, 1967. 336 с.

30. **David W. Schindler.** The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes // Proc. R. Soc. B. 2012. Published online before print August 22, 2012.

31. Хелпикс.Орг-Интернет помощник. [Электронный ресурс]. URL: <https://helpiks.org/9-69104.html>.

32. Экология справочник [Электронный ресурс]. URL: <https://ru-ecology.info/term>.

33. Textarchive.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://textarchive.ru>.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1 – Правила оформления работ

#### Требования к оформлению РГР, курсовой работы, раздела ВКР

##### 1. Оформление текстового материала (ГОСТ 7.0.11 – 2011)

1. Курсовая работа должен быть выполнена печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне белой бумаги формата А 4 (210x297 мм).

2. Поля: с левой стороны – 25 мм; с правой – 10 мм; в верхней части – 20 мм; в нижней – 20 мм.

3. Тип шрифта: *Times New Roman Cyr*. Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов (глав): полужирный, размер 16 пт. Шрифт заголовков подразделов: полужирный, размер 14 пт. Цвет шрифта должен быть черным. Межсимвольный интервал – обычный. Межстрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ – 1,25 см.

4. Страницы должны быть пронумерованы. Порядковый номер ставится в **середине верхнего поля**. Первой страницей считается титульный лист, но номер страницы на нем не проставляется. Рецензия – страница 2, затем 3 и т. д.

5. Главы имеют **сквозную нумерацию** в пределах работы и обозначаются арабскими цифрами. **В конце заголовка точка не ставится**. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. **Переносы слов в заголовках не допускаются**.

6. Номер подраздела (параграфа) включает номер раздела (главы) и порядковый номер подраздела (параграфа), разделенные точкой. Пример – 1.1, 1.2 и т. д.

7. Главы работы по объему должны быть пропорциональными. Каждая глава начинается с новой страницы.

8. В работе необходимо четко и логично излагать свои мысли, следует избегать повторений и отступлений от основной темы. Не следует загромождать текст длинными описательными материалами.

9. На последней странице РГР, курсовой работы ставятся дата окончания работы и подпись автора.

10. Законченную работу следует переплести в папку.

Написанную и оформленную в соответствии с требованиями курсовую работу студент регистрирует на кафедре. Срок рецензирования – не более 7 дней.

## **2. Оформление ссылок (ГОСТ Р 7.0.5)**

При написании РГР, курсовой работы, раздела ВКР необходимо давать краткие внутритекстовые библиографические ссылки. Если делается ссылка на источник в целом, то необходимо после упоминания автора или авторского коллектива, а также после приведенной цитаты работы, указать в квадратных скобках номер этого источника в библиографическом списке. Например: Обосновывающие водохозяйственные расчеты и балансы выполняются в соответствии с методикой, изложенной в [1, 3-5].

Допускается заключать внутри текстовую библиографическую ссылку в круглые скобки, с указанием авторов и года издания объекта ссылки. Например, (Дубинина, 2001).

Если ссылку приводят на конкретный фрагмент текста документа, в ней указывают порядковый номер и страницы, на которых помещен объект ссылки. Сведения разделяют запятой, заключая в квадратные скобки. Например, [10, с. 81]. Допускается оправданное сокращение цитаты. В этом случае пропущенные слова заменяются многоточием.

## **3. Оформление иллюстраций (ГОСТ 2.105-95)**

На все рисунки в тексте должны быть даны ссылки. Рисунки должны располагаться непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Рисунки нумеруются арабскими цифрами, при этом нумерация сквозная, но допускается нумеровать и в пределах раздела (главы). В последнем случае, номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой (*например*: Рисунок 1.1).

Подпись к рисунку располагается под ним посередине строки. Слово «Рисунок» пишется полностью. В этом случае подпись долж-

на выглядеть так: Рисунок 2 – Характеристика водности реки в расчетных створах

Точка в конце названия не ставится.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рис. 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рис. 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Независимо от того, какая представлена иллюстрация - в виде схемы, графика, диаграммы – подпись всегда должна быть «Рисунок». Подписи типа «Схема 1.2», «Диагр. 1.5» не допускаются.

#### **4. Общие правила представления формул (ГОСТ 2.105-95)**

Формулы должны быть оформлены в редакторе формул *Equation Editor* и вставлены в документ как объект.

Большие, длинные и громоздкие формулы, которые имеют в составе знаки суммы, произведения, дифференцирования, интегрирования, размещают на отдельных строках. Это касается также и всех нумеруемых формул. Для экономии места несколько коротких однотипных формул, отделенных от текста, можно подать в одной строке, а не одну под одну. Небольшие и несложные формулы, которые не имеют самостоятельного значения, вписывают внутри строк текста.

Объяснение значений символов и числовых коэффициентов нужно подавать непосредственно под формулой в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента нужно подавать с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова «где» без двоеточия.

Уравнения и формулы нужно выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы нужно оставить не меньше одной свободной строки. Если уравнение не вмещается в одну строку, его следует перенести после знака равенства (=), или после знаков плюс (+), минус (-), умножение.

Нумеровать следует лишь те формулы, на которые есть ссылка в следующем тексте.

Порядковые номера помечают арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы без точек от формулы к ее номеру. Формулы должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы спра-

ва в круглых скобках. Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой (Например, 4.2). Номер, который не вмещается в строке с формулой, переносят ниже формулы. Номер формулы при ее перенесении вмещают на уровне последней строки. Если формула взята в рамку, то номер такой формулы записывают снаружи рамки с правой стороны напротив основной строки формулы. Номер формулы-дроби подают на уровне основной горизонтальной черточки формулы.

Номер группы формул, размещенных на отдельных строках и объединенных фигурной скобкой, помещается справа от острия парантеза, которое находится в середине группы формул и направлено в сторону номера.

Общее правило пунктуации в тексте с формулами такое: формула входит в предложение как его равноправный элемент. Поэтому в конце формул и в тексте перед ними знаки препинания ставят в соответствии с правилами пунктуации.

Двоеточие перед формулой ставят лишь в случаях, предусмотренных правилами пунктуации: а) в тексте перед формулой обобщающее слово; б) этого требует построение текста, который предшествует формуле.

Знаками препинания между формулами, которые идут одна под одной и не отделены текстом, могут быть запятая или точка с запятой непосредственно за формулой к ее номеру.

**Пример:** Влажность почвы  $W$  в % вычисляется по формуле:

$$W = \frac{(m_1 - m_0) \times 100}{(m_0 - m)}, \quad (4.2)$$

где

$m_1$ , - масса влажной почвы со стаканчиком, г;

$m_0$  - масса высушенной почвы со стаканчиком, г;

$m$  - масса стаканчика, г.

При ссылке на формулу в тексте ее номер ставят в круглых скобках. *Например:* Из формулы (4.2) следует...

## 5. Оформление таблиц (ГОСТ 2.105-95)

На все таблицы в тексте должны быть ссылки. Таблица должна

располагаться непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

Все таблицы нумеруются (нумерация сквозная, либо в пределах раздела – в последнем случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера внутри раздела, разделенных точкой (*например*: Таблица 1.2). Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением обозначения приложения (*например*: Приложение 2, табл. 2).

Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире (*например*: Таблица 3 – Аккумуляция углерода в продукции агроценозов за 1981-2015 гг.).

При переносе таблицы на следующую страницу название помещают только над первой частью. Над другими частями также слева пишут слово «Продолжение» или «Окончание» и указывают номер таблицы (*например*: Продолжение таблицы 3).

Таблицы, занимающие страницу и более, обычно помещают в приложение. Таблицу с большим количеством столбцов допускается размещать в альбомной ориентации. В таблице допускается применять размер шрифта 12, интервал 1,0.

Заголовки столбцов и строк таблицы следует писать с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки столбцов – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков столбцов и строк точки не ставят.

Разделять заголовки и подзаголовки боковых столбцов диагональными линиями не допускается. Заголовки столбцов, как правило, записывают параллельно строкам таблицы, но при необходимости допускается их перпендикулярное расположение.

Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей. Но заголовок столбцов и строк таблицы должны быть отделены линией от остальной части таблицы.

При заимствовании таблиц из какого-либо источника, после нее оформляется сноска на источник в соответствии с требованиями к оформлению сносок.

**Пример:**

**Таблица 3 – Аккумуляция углерода в продукции агроценозов за 1981–2015 гг., тыс. т С·год<sup>-1</sup>**

Ландшафтно-климатическая зона	га	ANP	BNP	NPP
1	2	3	4	5
Лесостепь	42 054	84,52	61,85	146,37
Степь	150 201	221,70	246,72	468,42
Сухостепь	52 524	79,05	71,14	150,19
Итого	244 779	385,27	379,71	764,98

**6. Оформление библиографического списка (ГОСТ 7.1)**

**Оформление книг**

***с 1 автором***

Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.

***с 2-3 авторами***

Жуланова, В.Н. Агрочувств Тувы: свойства и особенности функционирования / В.Н. Жуланова, В.В. Чупрова. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. – 155 с.

***с 4 и более авторами***

Коробкин, М.В. Современная экономика / М.В. Коробкин [и др.] - СПб.: Питер, 2014.- 325 с.

**Оформление учебников и учебных пособий**

Наумов, В.Д. География почв. Почвы тропиков и субтропиков: учебник / В.Д. Наумов - М.: «ИНФРА-М», 2014. - 282 с.

**Оформление учебников и учебных пособий под редакцией**

Использование дистанционных методов исследования при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия: уч. пособие / И.Ю. Савин, В.И.Савич, Е.Ю. Прудникова, А.А. Устюжанин; под ред. В.И. Кирюшина. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. - 180 с.

**Для многотомных книг**

Боков, А.Н. Экономика Т.2. Микроэкономика / А.Н. Боков. - М.: Норма, 2014. - 532 с.

### **Словари и энциклопедии**

Ожегов, С. И. Толковый словарь русского языка / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова. - М.: Азбуковник, 2000. - 940 с.

Экономическая энциклопедия / Е. И. Александрова [и др.]. - М.: Экономика, 1999. - 1055 с.

### **Оформление статей из журналов и периодических сборников**

1. Яковлев, П.А. Продуктивность яровых зерновых культур в условиях воздействия абиотических стрессовых факторов при обработке семян селеном, кремнием и цинком / П.А. Яковлев // *Агрохимический вестник*. – 2014. – № 4. – С. 38–40.

2. Krylova, V.V. Hypoxic stress and the transport systems of the peribacteroid membrane of bean root nodules / V.V. Krylova, S.F. Izmailov // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2011. - Vol. 47. - №1. - P.12-17.

3. Сергеев, В.С. Динамика минерального азота в черноземе выщелоченном под яровой пшеницей при различных приемах основной обработки почвы / В.С. Сергеев // *Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК: материалы Всероссийской научно-практической конференции*. – Уфа, 2009. – С. 58-62.

4. Shumakova, K.B., Burmistrova A.Yu. The development of rational drip irrigation schedule for growing nursery apple trees (*Malus domestica* Borkh.) in the Moscow region/ K.B. Shumakova, A.Yu. Burmistrova // *European science and technology: materials of the IV international research and practice conference*. Vol. 1. Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2013. - P. 452–458.

### **Диссертация**

Жуланова, В.Н. Гумусное состояние почв и продуктивность агроценозов Тувы / / В.Н. Жуланова. – Дисс. ... канд.биол.наук. Красноярск, 2005. – 150 с.

### **Автореферат диссертации**

Козеичева Е.С. Влияние агрохимических свойств почв центрального нечерноземья на эффективность азотных удобрений: Автореф. дис. канд. биол. наук: 06.01.04 - М.: 2011. - 23с.

## **Описание нормативно-технических и технических документов**

1. ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» - Введ. 2009-01-01.— М.: Стандартинформ, 2008.— 23 с.

2. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК7 Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И.; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи.— № 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).— 3 с.

### **Описание официальных изданий**

Конституция Российской Федерации принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года.— М.: Эксмо, 2013.— 63 с.

### **Депонированные научные работы**

1. Крылов, А.В. Гетерофазная кристаллизация бромида серебра / А.В. Крылов, В.В. Бабкин; Редкол. «Журн. прикладной химии». — Л., 1982. — 11 с. — Деп. в ВИНТИ 24.03.82; № 1286-82.

2. Кузнецов, Ю.С. Изменение скорости звука в холодильных расплавах / Ю. С. Кузнецов; Моск. хим.-технол. ун-т. — М., 1982. — 10 с. — Деп. в ВИНТИ 27.05.82; № 2641.

### **Электронные ресурсы**

1. Суров, В.В. Продуктивность звена полевого севооборота / В.В. Суров, О.В. Чухина // Молочнохозяйственный вестник. — 2012. — №4(8) [Электронный журнал]. — С.18-23. — Режим доступа: URL [molochное.ru/journal](http://molochное.ru/journal).

2. Защита персональных данных пользователей и сотрудников библиотеки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nbrkomi.ru>. — Заглавие с экрана. — (Дата обращения: 14.04.2014).

## **7. Оформление приложений (ГОСТ 2.105-95)**

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова "Приложение" и его обозначения. Приложение должно иметь заголовки, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

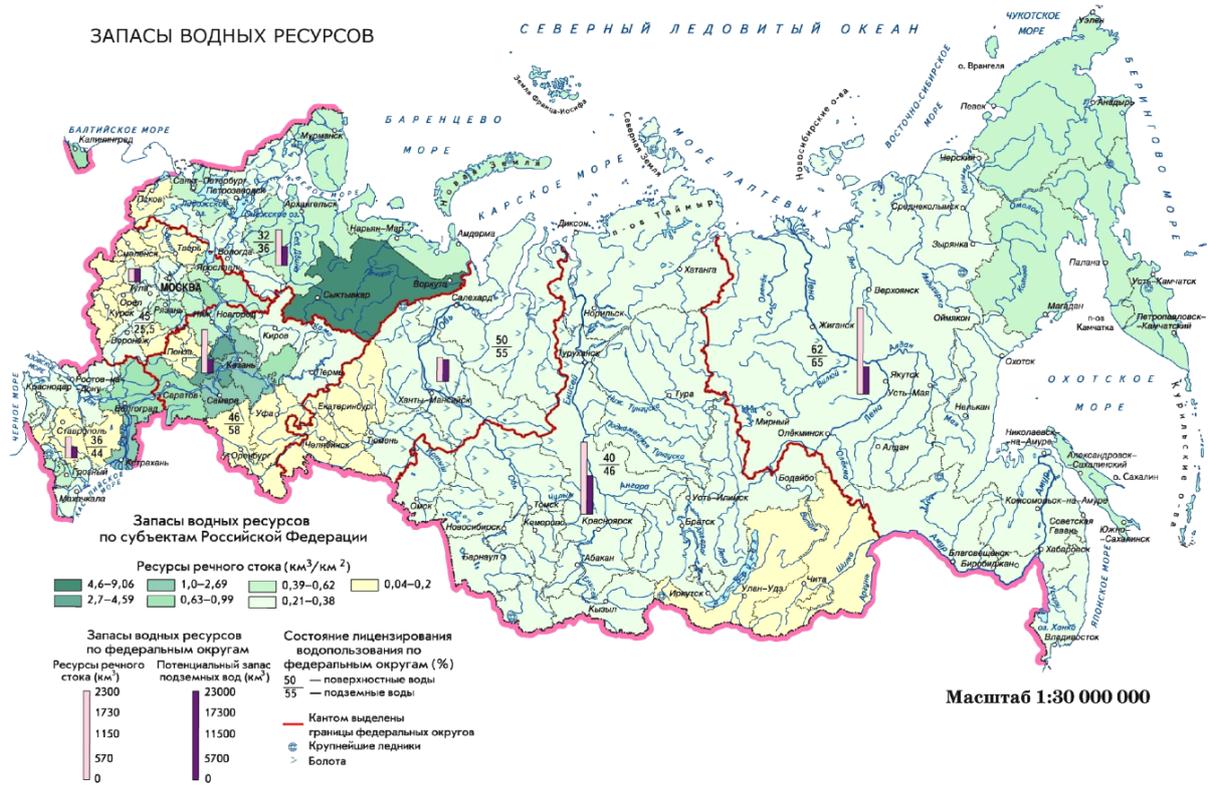
Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Е, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. Допускается использование для обозначения приложений арабских цифр. После слова "Приложение" следует буква (или цифра), обозначающая его последовательность.

Приложения, как правило, оформляют на листах формата А4. Допускается оформлять приложения на листах формата А3, А2, А1 по ГОСТ 2.301.

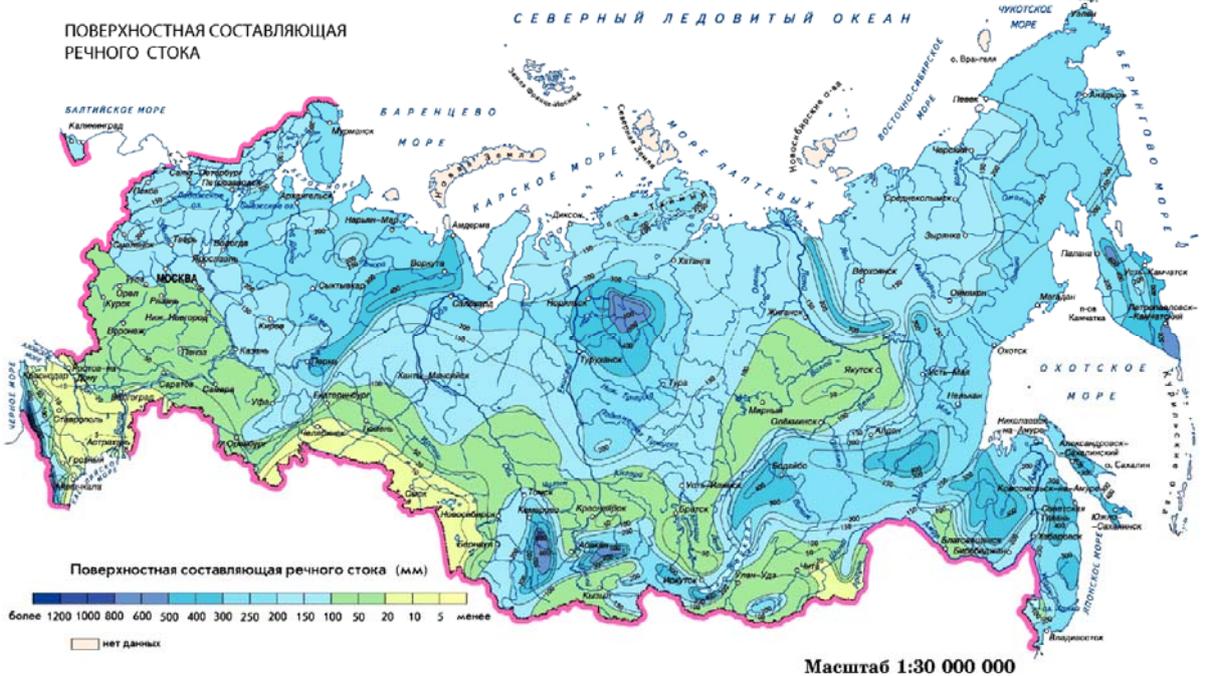
Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

# Приложение 2 – Картографические материалы

## ЗАПАСЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



## ПОВЕРХНЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РЕЧНОГО СТОКА



## Приложение 3 – Титульный лист



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»**  
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

**Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства**  
**имени А.Н. Костякова**  
**Кафедра комплексного использования водных ресурсов и**  
**гидравлики**

**Дисциплина «Природопользование»**

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА**  
**ТЕМА: «Оценка изменения концентраций загрязняющих**  
**веществ по длине реки ..... »**

**Выполнил(а):**  
Студент(ка) группы  
ФИО  
**Проверил(а):**  
Должность, степень ФИО

**Москва – 2021**

*Учебное издание*

**Глазунова Ирина Викторовна**  
**Соколова Светлана Анатольевна**  
**Матвеева Татьяна Ивановна**  
**Маркин Вячеслав Николаевич**  
**Бакштанин Александр Михайлович**

# **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ДЛИНЕ РЕКИ**

*Учебное пособие*

Издается в авторской редакции

Оригинал-макет *Алексей Карев*

Дизайн обложки *Полина Шапошникова*

Подписано в печать 25.07.21. Формат 60x90/16  
Усл.-печ. л. 5,44. Тираж 100 экз. Заказ № 19

ООО «Мегаполис»  
[www.m-megapolis.ru](http://www.m-megapolis.ru)  
Тел.: 8 (495) 643-28-71  
E-mail: [zakaz@m-megapolis.ru](mailto:zakaz@m-megapolis.ru)  
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23А

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские технологии»  
Тел.: +7 (499) 322-38-31  
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5