

РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева  
Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства  
им. А.Н. Костякова

**И.В. Глазунова, В.Н. Маркин, Л.Д. Раткович, С.А. Соколова**

## **РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**



***УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ***

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова

**И.В. Глазунова, В.Н. Маркин, С.А.  
Соколова, Л.Д. Раткович**

## **РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

*учебное пособие*

Рекомендовано научно-методическим советом по  
Природообустройству  
и водопользованию для использования в учебном  
процессе при подготовке  
бакалавров и магистров по направлениям  
20.03.02 и 20.04.02  
«Природообустройство и  
водопользование»

Москва - 2022

УДК  
502  
ББК  
20.18  
Г52

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, научный руководитель по направлению мелиорация **Л.В.**

**Кирейчева**

кандидат технических наук, доцент кафедры Экология РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова **Н.В. Лагутина**

**Г52 Глазунова И.В., Маркин В.Н., Соколова С.А., Раткович Л.Д.**

**Рациональное водопользование:** учебное пособие / И.В.

Глазунова, В.Н. Маркин, С.А. Соколова, Л.Д. Раткович /  
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – Курск:  
Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2022. – 136 с.

**ISBN 978-5-907586-89-5**

**DOI 10.47581/2022/Glazunova.01**

В пособии рассматриваются вопросы обоснования мероприятий по экономии водных ресурсов, повышения эффективности их использования и охране водных объектов. Для мониторинга водопользования и эффективности водохозяйственных мероприятий в пособии рассматриваются цифровые технологии, такие как IoT технологии и VID DATA в частности методы аэрофотосъемки, беспилотных летательных аппаратов для ГИС. Приводятся примеры основных обосновывающих расчетов.

Пособие состоит из двух частей. В первой части рассматриваются теоретические вопросы, во второй – приводится пример выполнения обосновывающих расчетов. Учебное пособие может быть использовано студентами, обучающимися для выполнения практических работ, курсовой работы и при подготовки выпускной квалификационной работы.

На титульном листе фотография с сайтов: [sadovnikonline.ru](http://sadovnikonline.ru),  
[mahachkala.tiu.ru](http://mahachkala.tiu.ru), [sunhome.ru](http://sunhome.ru), [reedr.ru](http://reedr.ru)

**ISBN 978-5-907586-89-5**

© Глазунова И.В., Маркин  
В.Н., Соколова С.А  
Раткович Л.Д., 2022  
© РГАУ-МСХА им. К.А.  
Тимирязева, 2022

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ПРЕДИСЛОВИЕ** .....5

**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**.....7

**I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КУРС** .....16

1. РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, КАК ПОЛИТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.....16

1.1 Цель и задачи рационального водопользования.....16

1.2 Социально-экологические и исторические предпосылки развития дисциплины и связь с другими научно-практическими дисциплинами ..... 18

1.3. Государственная политика в области использования водных ресурсов и охраны водных объектов.....21

2. ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ .....28

2.1 Основные законодательные документы .....28

2.2 Основные положения использования и охраны водных объектов.....34

2.3 Общая схема использования водных ресурсов.....36

3. МОНИТОРИНГ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ .....50

3.1 Первичный контроль. Статистическая форма отчетности использования водных ресурсов .....50

3.2 Общая схема контроля использования водных объектов.....50

3.3 Методы аэрокосмического наблюдения.....52

    ⌘ 1 Использование средств космического и воздушного базирования 53

    ⌘ Использование беспилотных летательных аппаратов.....55

3.4 Методы биотестирования состояния водных объектов.....56

3.5 Расчетные методы мониторинга .....57

4. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.....61

4.1 Цели использования водных ресурсов.....61

4.2 Проблемы использования водных ресурсов .....61

5. МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.....67

6. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЮ .....73

7. ОБОСНОВАНИЕ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....80

8. НОРМАТИВЫ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ .....83

8.1 Нормативы допустимого изъятия воды.....85

8.2

Нормативы предельно допустимого сброса загрязняющих веществ в водный объект ..... 88

**II. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ** ..... **91**

9. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ..... 91

9.1. ЗАДАНИЯ ПО ЛЕКЦИОННОМУ КУРСУ..... 91

9.1.1. Оценка эффективности введения водооборотной системы водоснабжения в орошении ..... 91

9.1.2 Оценка эффективности введения повторной системы водоснабжения орошения сточными водами животноводства ..... 94

9.1.3 Оценка допустимого воздействия на реку ..... 97

9.1.4 Оптимизация водораспределения между потребителями в условиях дефицита водных ресурсов ..... 101

9.2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ..... 106

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК** ..... **133**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии изложены проблемы использования водных ресурсов, методы рационального водопользования, оценки эффективности мероприятий по рациональному водопользованию, обоснования водоохранных мероприятий, нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Описано применение методов аэрокосмических наблюдений за состоянием земельных и водных объектов, использование средств космического и воздушного базирования; использование беспилотных летательных аппаратов.

Учебное пособие предназначено для студентов очного, очно-заочного и заочного образования высших учебных заведений, изучающих науки о воде и её использовании.

Структурно учебное пособие хорошо построено. Включает термины и определения, теоретическую часть, практическую часть с примером выполнения задания.

Все части учебного пособия достаточно хорошо иллюстрированы, что, безусловно, способствует лучшему усвоению представляемого материала. Понятия и термины, встречающиеся в тексте, приведены с пояснениями. Важно, что в написании учебного пособия учтены последние и многократно апробированные достижения науки и производства, методология обучения студентов, в том числе многолетний опыт преподавания дисциплины непосредственно на кафедре.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 20.03.02 и 20.04.02 «Природообустройство и водопользование» Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Учебное пособие написано в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом для направления подготовки бакалавров и магистров очного, очно-заочного и заочного образования.

В настоящем учебном пособии изложены вопросы обоснования мероприятий по экономии водных ресурсов, повышения эффективности их использования и охране водных объектов. Приводятся примеры основных обосновывающих расчетов, необходимые для бакалавров, магистров и аспирантов, изучающих методы и методики рационального водопользования.

Для мониторинга водопользования и эффективности водохозяйственных мероприятий в пособии рассматриваются цифровые технологии, такие как Lot технологии и BIG DATA, в частности методы аэрофотосъемки, беспилотных летательных аппаратов для ГИС. Приводятся примеры основных обосновывающих расчетов.

Таким образом, в учебном пособии находится необходимый и достаточный арсенал знаний, которым должны овладеть бакалавры, специалисты и магистры, изучающие дисциплины направления «Природообустройство и водопользование».

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Биогенные вещества** – химические вещества, необходимые живым организмам для обеспечения нормальной жизнедеятельности (питания и построения своего тела).

**Водное хозяйство** – отрасль государственной экономики, занимающаяся и разрабатывающая вопросы: водообеспечения и водоотведения, охраны водных ресурсов и борьбы с негативным воздействием вод.

**Водные ресурсы** – пригодные для использования человеком воды.

**Водный объект** – природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима;

**Водоохранная зона** – территория, которая примыкает к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которой устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира.

**Водопользователи** – участники ВХК использующие воду в пределах водного объекта.

**Водопотребители** – участники ВХК забирающие воду из источника водоснабжения.

**Водохозяйственная система** – комплекс водных объектов и предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны водных ресурсов гидротехнических сооружений.

**Водохозяйственный баланс** – сопоставление располагаемых водных ресурсов с проектными объемами и режимом отраслевого водопотребления в сочетании с санитарно-экологическими требованиями водных объектов.

**Водохозяйственный комплекс (ВХК)** – совокупность отраслей экономики территориального или бассейнового масштаба с водными объектами и гидротехническими системами водообеспечения.

**Водохозяйственный участок** – часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и другие параметры использования водного объекта (водопользования).

**Воздействие на окружающую среду** – загрязнение воздуха, воды и почвы в результате вредных выбросов продуктов сгорания органических топлив и т.п., работы ядерных реакторов и утечек нефти и нефтепродуктов; потеря природных ресурсов (изъятие земель, нарушение ландшафтов горными работами) и т.д.

**Вторичное загрязнение** – загрязнение вод в результате превращения внесенных ранее загрязняющих веществ, массового развития организмов или разложения мертвой биологической массы, происходящее за счет внутри водоемных процессов.

**Гидробионты** – это морские и пресноводные организмы, которые или обитают в воде, или проводят в ней большую часть своей жизни. Гидробионты делятся на:

- планктон – микроскопические организмы, которые находятся в толще воды (например, одноклеточные водоросли, рачки, медузы).
- плейстон – гидробионты, обитающие на поверхности воды или погруженные в воду (например, моллюски, сифонофоры, саргассовые водоросли).
- нейстон – микроорганизмы, которые живут у поверхности воды (например, зеленые, сине-зеленые и золотистые водоросли, водомерки, личинки комаров, вертячки, легочные моллюски);
- нектон – крупные животные, которые обитают в воде. они активно передвигаются, способные сопротивляться течению и передвигаться

на большие расстояния (например, рыбы, кальмары, а также киты, черепахи, ластоногие);

- бентос – обитатели донных отложений, которые передвигаются по дну или живут в его толще (например, животные организмы (крабы, морские звезды, скаты, камбалы, гребешки, моллюски хитоны, устрицы, ланцетники) и растительные организмы (водоросли).
- реофилы – животные организмы, обитающие в реках, ручьях, на морских мелководьях (например, представители лососевых рыб, моллюсков, мшанки).

**Гидрохимический баланс** – это сопоставление объемов веществ, поступающих в водный объект или образовавшийся в нем в результате внутри водоемных процессов, с объемами веществ, удаляемых из водного объекта и подвергающихся процессам самоочищения.

**Загрязнение биологическое** – привнесение в среду и размножение в ней нежелательных для человека организмов

**Загрязнение вод** – привнесение в среду или образование в ней физических, химических или биологических агентов, или превышение, за рассматриваемое время, естественного среднесуточного уровня концентрации перечисленных агентов, неблагоприятно воздействующих на среду жизни или наносящих урон материальным ценностям.

**Загрязнение водных объектов** – сброс или поступление иным способом в водные объекты, а также образование в них вредных веществ, которые ухудшают качество поверхностных и подземных вод, ограничивают использование либо негативно влияют на состояние дна и берегов водных объектов.

**Загрязнение физическое** – изменение физических параметров среды. Физическое загрязнение делится на механическое загрязнение, тепловое и радиоактивное.

**Загрязнение химическое** – изменение естественных химических свойств среды, за счет увеличения в ней вредных минеральных примесей и органической природы.

**Засорение водных объектов** – это поступление в водные объекты трудно разлагаемых предметов.

**Истощение водных объектов** – уменьшение стока поверхностных вод ниже минимально допустимого уровня и (или) сокращение запасов подземных вод.

**Качество воды** – сочетание химического и биологического состава и физических свойств воды, определяющее характер её хозяйственного использования.

**Контроль качества воды** – проверка соответствия качества воды установленным нормам и требованиям.

**Концентрация предельно допустимая (ПДК)** - максимальное количество вредного вещества в единице объема среды, практически не влияющее отрицательно на человека в течение неограниченного времени.

**Культурно-бытовое водопользование** – 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 населённых мест, независимо от вида их использования объектами для обитания, размножения и миграции рыб и других водных организмов.

**Лимит водопотребления** – установленный потребителю органами местного самоуправления предельный объем питьевой воды и сбрасываемых сточных вод на определенный период времени.

**Лимитирующий признак вредности вещества в воде** – признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества в воде.

**Мониторинг** - специальные наблюдения за состоянием биосферы, находящейся под воздействием антропогенной деятельности.

**Мониторинг водных объектов государственный** - система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных объектов.

**Нормативы допустимого воздействия на водные объекты (НДВ)** – устанавливают безопасные уровни содержания загрязняющих веществ, а также других показателей, характеризующих воздействие на водные объекты, с учетом природно-климатических особенностей водных объектов данного региона и сложившейся в результате хозяйственной деятельности природно-техногенной обстановки.

**Нормирование экологическое** – количественная оценка реакции экосистемы на любой вид антропогенного воздействия.

**Нормы качества воды** – установленные значения химических показателей качества воды по видам водопользования.

**Охрана водных объектов** – совокупность мероприятий, направленных на предотвращение и устранение последствий загрязнения, засорения и истощения вод.

**Первичное загрязнение** – поступление в водные объекты загрязняющих веществ извне.

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

**Предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>р/х</sub>) веществ в воде водоёма, используемого для рыбохозяйственных целей** – это концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых. ПДК рыбохозяйственного водопользования устанавливается с учётом пяти лимитирующих показателей вредности (ЛПВ):

- санитарного (обще санитарный) показатель определяет влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод за счёт биохимических

мических и химических реакций с участием естественной микрофлоры;

- органолептического - характеризует способность вещества изменить органолептические (распознаваемые органами чувств) свойства воды.
- санитарно-токсикологического (характеризует вредное воздействие на организм человека);
- токсикологического (определяет токсичность вредных веществ для живых организмов, населяющих водный объект);
- рыбохозяйственного (учитывает негативное влияние на качество промысловых рыб).

**Предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>хн/кб</sub>) веществ в воде водоёма 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 для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования устанавливается с учётом трех лимитирующих показателей вредности (ЛПВ):

- санитарного (обще санитарный) показатель определяет влияние вещества на процессы естественного самоочищения вод за счёт биохимических и химических реакций с участием естественной микрофлоры;
- санитарно-токсикологического (характеризует вредное воздействие на организм человека);
- органолептического (характеризует способность вещества изменить органолептические (распознаваемые органами чувств) свойства воды).

Кроме того вещества отнесены к четырем классам опасности (1,2,3 и 4).

Самые опасные вещества 1 и 2 классов.

**Предельно допустимая нагрузка** - показатель воздействия одного или нескольких вредных (загрязняющих) веществ на окружающую природную среду, превышение которого может привести к вредному воздействию на окружающую природную среду.

**Предельно допустимый сброс вещества в водный объект** – масса вещества в сточных водах, максимально-допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.

**Рациональное водопользование** — стратегия использования водных ресурсов, предусматривающая комплексные мероприятия по экономии воды, воспроизводству сточных и дренажных вод, широкому использованию оборотных и комбинированных систем водоснабжения в целях ресурсосбережения, охраны природы и повышения экономической эффективности водохозяйственных систем.

**Речной бассейн** - территория, поверхностный сток вод с которой через связанные водоемы и водотоки осуществляется в море или озеро.

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

**Самоочищение воды** – совокупность процессов естественного восстановления качества воды водных объектов, подверженных антропогенному загрязнению.

**Самоочищение природных вод** – совокупность природных гидрологических, химических, биологических и других процессов, протекающих в загрязнённых водных объектах и стремящихся к восстановлению первоначального состава и свойств воды.

**Системный подход** – метод, применяемый к анализу больших систем, которые характеризуются большим количеством компонентов и структурных

связей между ними. Системный подход подразумевает выявление компонентов и системообразующие связи процесса или явления, определение основных факторов, влияющих на функционирование системы, оценка роли и места данной системы, как целостного образования в системе других явлений. Необходимо выявить отдельные элементы или группы, на которые оказывается влияние, изучение процессов управления, обеспечивающих достижение поставленных целей, создание системы с улучшенным функционированием, внедрение полученных результатов в практику.

**Сточные воды** – вода, сбрасываемая в установленном порядке в водные объекты после ее использования или поступившая с загрязненной территории.

**Управления количеством и качеством водных ресурсов** – система мероприятий, позволяющая увеличивать количество пригодных для определенной деятельности водных ресурсов и приводить их показатели в заданные пределы.

**Устойчивость водной экосистемы** – способность противостоять внешним и внутренним процессам которые нарушают структуру и нормальное функционирование системы.

**Хозяйственно-питьевое водопользование** – использование водных объектов или их участков в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также снабжения предприятий пищевой промышленности. В соответствии с Санитарными правилами и нормами СанПин 2.1.4.559-96 питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

**Эвтрофирование** – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием природных или антропогенных факторов.



**Экологический сток** – часть естественного стока реки, которая обеспечивает сохранение устойчивости водной экосистемы.

**Экологическое благополучие водного объекта** – нормальное воспроизведение основных звеньев экологической системы водного объекта. К основным звеньям относятся пелагические (рыбы обитающие в толще воды) и придонные ракообразные и рыбы.

## I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КУРС

### 1. РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, КАК ПОЛИТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Цель и задачи рационального водопользования.
- Социально-экологические и исторические предпосылки развития дисциплины и связь с другими научно-практическими дисциплинами
- Государственная политика в области использования водных ресурсов и охраны водных объектов.

#### 1.1 Цель и задачи рационального водопользования

**Рациональное водопользование** – стратегия использования водных ресурсов, предусматривающая комплексные мероприятия по экономии воды, воспроизводству сточных и дренажных вод, широкому использованию оборотных и комбинированных систем водоснабжения в целях ресурсосбережения, охраны природы и повышения экономической эффективности водохозяйственных систем [7, 15, 16, 19].

Цели рационального водопользования:

- Сохранение естественной среды обитания. Экономия свежей воды уменьшает необходимость строительства новых водохранилищ и увеличения мощностей водозаборных сооружений, что сохраняет условия обитания водных организмов.
- Сохранить экологическую устойчивость водных объектов. Водопотребление свежей воды и объем сброса загрязняющих веществ не должны превышать экологически допустимые пределы.
- Энергосбережение. Водозабор и доставка воды потребителю, прием очистки сточных вод потребляют до 15% общего объема вырабатываемой энергии.

До определённого уровня антропогенной нагрузки природные экосистемы сохраняют способность к саморегулированию, т.е. сохраняют устойчивость. В этом случае работают такие механизмы, как самоочищение

воды и самовосстановление изъятых возобновляемых ресурсов. Допустимый уровень, в первом приближении, оценивает в изъятии и привнесении 10...30% вещества от свойственного экосистеме объема, или изменении энергетики экосистемы в пределах 1%. Превышение критического уровня приводит к необратимым изменениям. Даже после снижения или снятия нагрузки экосистема не может вернуться в исходное состояние. Например, развитие земледелия привело к исчезновению 30% ручьев и малых рек Центрального Нечерноземного региона. Когда земли перестали использоваться для земледелия и стали зарастать естественной растительностью реки и ручьи не возродились. Другой пример связан с попытками восстановить естественные тропические леса в Пуэрто-Рико, хвойные леса в Скандинавии. Поэтому важно создать условия для формирования нового устойчивого состояния нарушенных природных экосистем, путем снижения антропогенного воздействия. Новое состояние может существенно отличаться от исторического естественного. Примеры возрождения рек Рейна, Темзы и Великих озер показывают, что в условиях высокоразвитой экономики возможно проведение рациональной экологической политики.

Экономия свежей воды позволяет существенно снизить нагрузку на водные объекты. Например, по данным начальника управления водоснабжения АО «Мосводоканал» Евгения Шушкевича: «... в 2012 г. удельное водопотребление составляло 180 л/сут.·чел., на сегодняшний день 137 л/сут.·чел. Это очень хороший показатель для европейских стран». Экономия составила около 24%, что за год позволяет экономить 216 млн.м<sup>3</sup> [2, 22].

## **1.2 Социально-экологические и исторические предпосылки развития дисциплины и связь с другими научно-практическими дисциплинами**

В процессе развития человеческого общества численность людей на Земле увеличивалась, что требовало постоянного увеличения производства сельскохозяйственных продуктов и товаров промышленного производства. Развитие экономики осуществляется на основе использования природных и созданных самим человеком ресурсов, в т.ч. воды. В настоящее время человек использует природные ресурсы, образовавшиеся в далеком геологическом прошлом (например, развитие энергетики на 78% связано с использованием угля, газа, торфа нефти, образовавшиеся еще до появления человека), и связанные с современными экологическими процессами (например, на 9% использует энергию ветра, воды, солнца). Современным обществом в производство и потребление вовлекается такое количество вещества и энергии, которое в десятки раз превосходит чисто биологические потребности человека. Ежедневно всем людям требуется 10 млн. м<sup>3</sup> воды. Но помимо этого всеми отраслями человеческого хозяйства ежедневно используется 2 млрд м<sup>3</sup> воды. Поэтому уже отмечается дефицит чистой воды. Кроме того, деятельность человека связанная с производством материальных ценностей образуют твердые, жидкие и газообразные отходы, которые, загрязняют и засоряют окружающую среду. Таким образом, в процессе развития человеческого общества происходит истощение, загрязнение и засорение природных ресурсов. Следовательно, появляется необходимость рационального использования природных богатств. Это означает, что при использовании ресурсов необходимо:

- повышать объем продукции (повысить коэффициент использования ресурса);
- использовать отходы производства в качестве вторичного сырья;
- минимизировать негативное влияние на окружающую среду;

- внедрять технологии, позволяющие многократно для разных целей использовать один и тот же ресурс (использовать водные объекты для водоснабжения, отдыха населения, транспорта, выработки электроэнергии на гидростанциях, разведения рыбы и других целей) [15, 16, 19, 23].

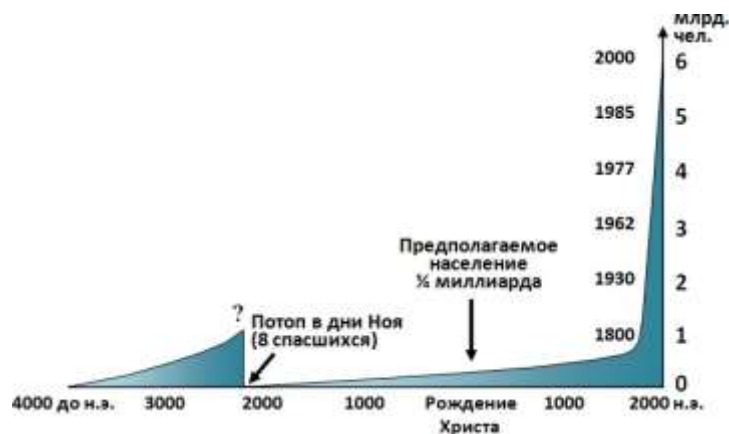


Рисунок 1.1 - Изменение численности населения на Земле, млрд. чел.

Таблица 1.1 – Зависимость отраслей мировой экономики по сырьевому обеспечению от ресурсов связанных с геологическим прошлым (А) и современными процессами и ресурсов Биосферы (Б), %

Отрасли хозяйства	А	Б
Энергетика	78	9
Нефтепереработка и угле-газо-нефтехимия	100	-
Промышленность строительных материалов	55	10
Лесопереработка и бумажная промышленность	25	60
Земледелие	10	80
Животноводство	-	90
Рыболовство	-	100

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

1. Потребление ресурсов превысило темпы их естественного воспроизводства (например, происходит снижение почвенного плодородия, для однопроцентной компенсации которого и сохранения прежней урожайности сельскохозяйственных растений необходимо увеличить затраты на 10%).
2. Отходы, побочные продукты производства и быта загрязняют биосферу, нарушая глобальный круговорот веществ и создавая угрозу здоровью человека. Так загрязнение атмосферы привело к глобальному потеплению климата, образованию озоновых «дыр».

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 человечеством и природой, характеризующееся несоответствием развития производственных сил и производственных отношений в человеческом обществе возможностям Биосферы. Кризисы, возникают, например, при загрязнении окружающей среды, что приводит к болезням людей и смертельным случаям. Это обратимое явление, которое человек в состоянии устранить путем проведения природоохранных мероприятий. В отличие от кризисов **экологическая катастрофа** явление не обратимое и представляет собой аномальное явление, вызванное природными и антропогенными факторами. Деятельность людей, в данном случае, может быть направлена только на снижение ее последствий катастрофы. Использование природных ресурсов должно быть рациональным. 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.

### 1.3. Государственная политика в области использования водных ресурсов и охраны водных объектов

Ежегодно в экономике страны используется около 200 км<sup>3</sup> воды, из которых около 90 км<sup>3</sup> в год покрывается за счет отбора из природных источников, а остальной объем – за счет оборотных систем и систем повторного использования. Организованный сброс сточных вод в поверхностные водные объекты составляет 62-65 км<sup>3</sup>/год, из которых нормативно очищается около 10% [11, 12, 19, 23].

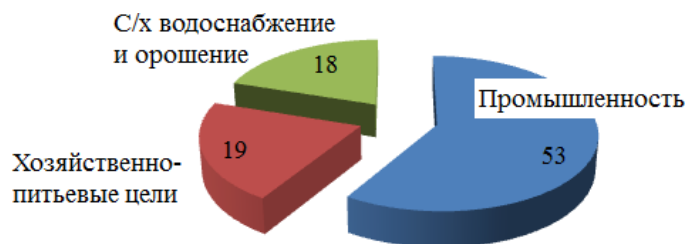


Рисунок 1.2 – Структура водопотребления

Для нужд водообеспечения населения и экономики страны из водных объектов забирается относительно небольшая часть водных ресурсов (в целом по стране около 2%). Однако в отдельных бассейнах имеются трудности с водообеспечением, обусловленные неблагоприятным распределением водных ресурсов по территории страны. Около 80% речного стока приходится на малоосвоенные в хозяйственном отношении бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов. На европейской же части страны, где сосредоточен основной промышленный и сельскохозяйственный по-

тенциал, формируется около 8% общего годового стока рек, т.е. менее 3 тыс. м<sup>3</sup> в год на 1 жителя [7, 15, 19].

Основные проблемы, сложившиеся в водном хозяйстве страны, состоят в следующем:

- 1) углубление тенденций расточительного водопользования;
- 2) неудовлетворительное качество воды в водных объектах;
- 3) снижение инвестиционной активности в водном хозяйстве привело к "старению" основных производственных фондов;
- 4) ухудшение научного и информационного обеспечения водохозяйственной деятельности.

**Цель государственной политики** в сфере использования, восстановления и охраны водных объектов – поддержание и улучшение сохранности и управления водным фондом, включая распределение и использование водных ресурсов. Для достижения указанной цели необходимо обеспечить решение следующих задач:

- совершенствование экономических методов государственного регулирования использования и охраны водных объектов и завершение перехода к их рациональному сочетанию с административными методами;
- развитие правовой базы в целях стимулирования инновационного и инвестиционного процессов в водном хозяйстве и обеспечение государственной поддержки водохозяйственной деятельности в областях, непривлекательных для частных инвесторов;
- разработка методов учета водных ресурсов и их качества в структуре национального богатства на основе их стоимостной оценки;
- создание механизма финансового обеспечения реализации водохозяйственных программ и мероприятий по восстановлению и охране водных объектов;

- создание эффективной системы мониторинга водных объектов и гидротехнических сооружений с целью прогнозирования их состояния и информационного обеспечения принятия обоснованных решений по использованию и охране водных ресурсов, предупреждению чрезвычайных ситуаций на водных объектах и прилегающих к ним территориях, обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений;
- завершение формирования оптимальных структур органов государственного управления водным фондом и хозяйствующих субъектов, обеспечивающих обустройство и содержание водных объектов;
- обеспечение государственной поддержки водохозяйственной науки как важнейшей составной части технологического цикла воспроизводства, использования и охраны водных ресурсов;
- создание системы страхования в области использования и охраны водных объектов, эксплуатации гидротехнических сооружений;
- завершение создания системы законодательного и нормативного правового обеспечения реализации государственной политики в сфере использования, восстановления и охраны водных объектов, а также государственного контроля за надлежащим исполнением положений законодательных и нормативных правовых актов [1, 6, 10, 11, 12, 23].

**Основные принципы государственной водохозяйственной политики:**

1. **Сочетание бассейнового и административно-территориального подходов.** Обусловленная природными факторами достаточная обособленность водных бассейнов, с одной стороны, и глубокая взаимозависимость элементов бассейна - с другой, вызывают необходимость рассматривать бассейн реки как единый объект управления. И,

следовательно, производить расчеты последствий воздействия тех или иных факторов (водоотбор, сброс сточных вод, строительство водохранилищ и пр.), составлять прогнозы и осуществлять планирование необходимо с учетом последствий для бассейна всей совокупности мероприятий, осуществляемых в нем. В пределах водосборной площади одного бассейна чаще всего располагается несколько субъектов Федерации, каждый из которых имеет свои специфические и нередко противоречивые интересы в сфере использования водных ресурсов и наделен значительной административной, экономической и нормативно-правовой самостоятельностью. С другой стороны, на территории одного субъекта Федерации могут находиться несколько водных объектов разных бассейнов. Ряд речных бассейнов имеет трансграничное значение. Очевидна необходимость создания системы управления водными ресурсами, которая бы основывалась на разумном сочетании бассейнового планирования и территориального оперативного управления [7, 18, 19].

2. **Сбалансированное развитие экономики и охраны водных объектов.** На разных этапах развития хозяйственной деятельности преобладали и реализовались различные подходы к обеспечению сочетания потребностей развития экономики и охраны водных объектов. В зависимости от складывающихся представлений о взаимном влиянии человека и природных вод менялись и подходы к ограничению антропогенного влияния на водные объекты и оценка воздействия загрязненных или другим способом преобразованных водных объектов на человека. Распространившиеся случаи разрушения водных и околоводных экологических систем и заболевания людей продемонстрировали несостоятельность ориентации на возможности приспособления живых организмов в условиях интенсивного развития экономики, особенно роста промышленного производства. С тех пор,

как для оценки качества воды стали использоваться предельно допустимые концентрации в воде загрязняющих веществ, в одних случаях целенаправленно, в других - непреднамеренно реализуется подход, основанный на разбавлении загрязняющих веществ. Смысл его заключается в обеспечении санитарно-гигиенических нормативов качества воды за счет использования ассимиляционных возможностей водных объектов, гидрометеорологических и других природных факторов (например, паводков). Разновидностью этого подхода является перенос загрязняющих веществ в другие регионы, реализуемый путем перевода туда "грязных" водоемких производств из крупных городских агломераций. Практическая реализация этого подхода приводит не к снижению поступления загрязняющих веществ в водные объекты, а их массивному распространению и деградации водных и околосредовых экосистем на обширных пространствах [1, 2, 3, 7, 9].

3. **Экономическая оценка природных ресурсов водных объектов и платность их использования.** Одним из важных принципов государственной водохозяйственной политики является социально-экономическая оценка водных, биологических, энергетических, рекреационных и других ресурсов водных объектов и учет ее в национальном богатстве и других макроэкономических показателях. Такая оценка необходима не только для корректного суждения о степени благополучия и экономической безопасности страны, но и для определения необходимого уровня платы за пользование водными объектами. В настоящее время экономическая оценка природных ресурсов водных объектов отсутствует. Хотя национальное богатство является совокупностью экономических активов страны, составляющих необходимое условие общественного производства и жизни людей, в настоящее время оно исчисляется практически как сумма стоимости

основных фондов, материальных оборотных средств и запасов, а также накопленного домашнего имущества. Стоимость водных, рекреационных, рыбных и других ресурсов водных объектов при этом не учитывается (впрочем, как не учитываются и другие природные ресурсы: земли, леса, недра и т.д.). В результате все возрастающие расходы, связанные с очисткой загрязненных сточных вод, сохранением биологических и рекреационных ресурсов водных объектов, лечением людей от вызванных употреблением некачественной воды заболеваний и т.п., увеличивают макроэкономические показатели, что зачастую принимается за "прогресс". В то же время учет финансовых потерь от деградации водных объектов мог бы изменить подобные оценки на противоположные. Экономическая оценка природных ресурсов водных объектов, обеспечивающая комплексный учет их количественных и качественных характеристик, должна стать методологической основой установления уровня платы за пользование водными объектами [4, 7, 18].

4. **Самофинансирование водохозяйственной деятельности.** Увеличение доли самофинансирования водного хозяйства за счет доходов от хозяйственной деятельности по обустройству и содержанию водных объектов, а также использование рыночных механизмов ценообразования в сфере водопользования должно стать одним из принципов государственной водохозяйственной политики.
5. **Профилактика, предосторожность и тщательная обоснованность преобразований.** Этот принцип является результатом признания, с одной стороны, морального долга водопользователей по предотвращению ущерба водным объектам и, с другой стороны, технической трудности и высокой стоимости восстановления нарушенных водных объектов. Из этого принципа, в частности, следует, что должны приниматься меры скорее для прекращения деятельности, которая

наносит ущерб водному объекту, чем для поиска технических и других решений для ликвидации ущерба "ниже по течению".

6. **Учет местных условий в различных регионах страны.** Представляется очевидным, что в тех случаях, когда это необходимо для охраны здоровья человека или применяются особо опасные и стойкие загрязняющие вещества, должны безусловно применяться общегосударственные стандарты и нормативы. Вместе с тем обширностью территории Российской Федерации и существенными различиями физико-географических и климатических условий в различных регионах создаются специфические проблемы (эвтрофирование водоемов, замедление гидрохимических и гидробиологических процессов в северных районах, различия в гидрохимическом составе природных вод, резкие колебания гидрологического режима и т.п.). Поэтому стратегия управления водным фондом страны должна быть достаточно гибкой, чтобы избежать не соответствующих местным условиям требований лишь во имя "унификации" и обеспечить принятие адекватных мер в регионах, где имеются специфические проблемы [2, 5, 7, 12, 14].

7. **Постоянство мониторинга.** Динамичный характер водных ресурсов не позволяет принимать обоснованные решения по управлению ими без надежных данных о количественных и качественных показателях состояния водных объектов. Средством получения таких данных является государственный мониторинг водных объектов, который представляет собою часть системы государственного мониторинга окружающей среды и включает:

- ✓ мониторинг поверхностных водных объектов суши и морей;
- ✓ мониторинг подземных вод;
- ✓ мониторинг водохозяйственных систем и сооружений.

8. **Открытость информации и участие общественности в принятии решений.** Нет оправдания засекречиванию информации о состоянии водных объектов и гидротехнических сооружений, также как и затруднению доступа к информации, в том числе путем установления запретительно высоких цен на неё.

## 2. ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- Основные законодательные документы.
- Основные положения использования и охраны водных объектов. Нормативные документы.
- Общая схема использования водных ресурсов
- Экологические законы рационального водопользования

### 2.1 Основные законодательные документы

**Водное законодательство** – это элемент системы законодательства, включающий нормативные и правовые акты, регулирующие отношения в области использования и охраны водных объектов. Целями Водного законодательства РФ являются:

- обеспечение прав граждан на чистую воду и благоприятную водную среду;
- поддержание оптимальных условий водопользования, а также качества поверхностных и подземных вод в состоянии, отвечающем санитарным и экологическим требованиям;
- защита водных объектов от загрязнения, засорения и истощения;
- предотвращение или ликвидация вредного воздействия вод, сохранение биологического разнообразия водных экосистем.

Цели Водного законодательства РФ реализуются на основе принципа устойчивого развития (сбалансированного развития экономики и улучшения состояния природной среды) [Указ Президента РФ от 04.02.1994 №

**236 О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития].**

Основным законодательным документом Водного законодательства является **Водный кодекс Российской Федерации: принятый ГД РФ от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ**. Кодекс основан на принципах:

1. значимости водных объектов в качестве основы жизни и деятельности человека;
2. приоритет охраны водных объектов перед их использованием;
3. сохранение особо охраняемых водных объектов;
4. целевое использование водных объектов;
5. приоритет использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения;
6. регулирование водных отношений в границах бассейновых округов (бассейновый подход) в зависимости от особенностей режима водных объектов, их физико-географических, морфометрических и других особенностей и взаимосвязи водных объектов и гидротехнических сооружений;
7. комплексное использование водных объектов;
8. платность использования водных объектов;
9. экономическое стимулирование охраны водных объектов.

Вопросы охраны природы, в том числе и водных объектов регламентирует **Федеральный «Закон об охране окружающей среды»: принятый ГД РФ от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ**, который учитывает следующие положения.

1. Обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека.
2. Научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды.

3. Охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов как необходимые условия обеспечения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности.
4. Презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности.
5. Обязательность оценки воздействия на окружающую среду при принятии решений об осуществлении хозяйственной и иной деятельности.
6. Приоритет сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов.

Стратегические цели и приоритетные направления развития водохозяйственного комплекса направлены на:

- гарантированное обеспечение водными ресурсами населения и отраслей экономики;
- охрана и восстановление водных объектов;
- защита от негативного воздействия вод.

Механизмы реализации планов:

- сокращение сверхнормативного изъятия водных ресурсов из водных объектов;
- внедрение систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения;
- внедрение систем учета количества, качества и использования водных ресурсов;
- сокращение непроизводительных потерь воды.

Нормативно методическая база включает **Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов: утверждены приказом МПР России от 4 июля 2007 г. № 169**. Схемы разрабатываются в целях:



- определения допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты;
- определения потребностей в водных ресурсах в перспективе;
- обеспечения охраны водных объектов;
- определения основных направлений деятельности по предотвращению негативного воздействия вод.

Основной задачей Схем является формирование инструментария принятия управленческих решений для достижения целевых показателей качества воды водных объектов и уменьшения последствий негативного воздействия вод до допустимых пределов.

Допустимая антропогенная нагрузка на водные объекты определяется в соответствии с **Методическими указаниями по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты: принятых МПР РФ от 12 декабря 2007 г. № 328.**

Нормативы допустимого воздействия на водные объекты всех источников, расположенных в пределах речного бассейна или его части разрабатываются в целях поддержания поверхностных и подземных вод в состоянии, соответствующем:

- устойчивому функционированию естественных экологических систем, сохранению биологического разнообразия и предотвращению негативного воздействия в результате хозяйственной деятельности;
- сохранению естественных экосистем и улучшению состояния нарушенных антропогенной деятельностью экологических систем;
- сведению к минимуму последствий антропогенных воздействий, создающих риск возникновения необратимых негативных изменений в экологической системе водного объекта;
- обеспечению устойчивого и безопасного водопользования в процессе социально-экономического развития территории.

Нормативы допустимого воздействия на водные объекты (НДВ) устанавливают безопасные уровни содержания загрязняющих веществ, а также других показателей, характеризующих воздействие на водные объекты, с учетом природно-климатических особенностей водных объектов данного региона и сложившейся в результате хозяйственной деятельности природно-техногенной обстановки.

Нормативы допустимого воздействия, регламентирующие виды воздействия на водные объекты, определяются целевым назначением водного объекта. Например, для рек относятся к водным объектам рыбохозяйственного водопользования (р/х). Концентрации загрязняющих веществ нормируются с помощью системы предельно допустимых концентраций (ПДК<sub>р/х</sub>).

Разработаны и используются два вида ПДК<sub>г</sub> — гигиенические и рыбохозяйственные. Гигиенические нормативы ПДК предназначались для обеспечения безопасных условий водопользования для человека. Рыбохозяйственные ПДК<sub>р/х</sub> учитывают негативное воздействие загрязняющих веществ на гидробионты. Величина ПДК<sub>р/х</sub> определяется в лабораторных условиях на наиболее уязвимых организмах (планктонные ракообразные, главным образом дафнии, развивающаяся икра, личинки и молодь рыб, одноклеточные водоросли). Предполагается, что остальные представители водного сообщества будут реагировать на загрязняющие вещества (токсикантов) подобным образом. Однако установлено, что последствия одновременного воздействия нескольких токсикантов не эквивалентны сумме последствий их индивидуального влияния. Такой эффект, как правило, обусловлен тем, что организм подвергается дополнительному влиянию продуктов, образующихся в результате химических реакций между токсикантами. Допустимая концентрация каждого элемента многокомпонентной смеси ниже установленной для него ПДК. Поэтому соблюдение нормативов ПДК не свидетельствует о безопасности вещества для водного биоце-

ноза. К недостаткам ПДК относятся еще и то, что норматив относится к валовому содержанию вещества, а в природных водных объектах, например, многие тяжелые металлы присутствуют и в высокотоксичной форме ионов, и в связанном с органическими веществами вод состоянии, менее токсичном. Существующая система ПДК не учитывает региональных особенностей формирования природных вод, различную экологическую валентность сообществ гидросистем, сформированных в различных физико-географических условиях с различными типами природопользования, при не одинаковом антропогенном воздействии и просто на разных участках крупных рек и водоемов. Так, в зонах с умеренным климатом река самоочищается через 200-300 км от места загрязнения, а на Крайнем Севере – через 2 тыс. км. Не может быть единого значения ПДК для мелководного и хорошо прогреваемого эвтрофного Цимлянского водохранилища и для холодного и глубокого олиготрофного Байкала. Например, существуют единые величины ПДК по нефти как для побережья Сочи, так и для полярного Ямала. Если разлив в первом случае ликвидируется естественным путем за 2 года, то в суровых климатических условиях Ямала с его не емкими и не устойчивыми экосистемами – через 100 лет [2, 10, 11, 12].

Есть опыт использования нормативов экологических предельно допустимых концентраций (ПДК<sub>эк</sub>), которые учитывают особенности конкретного водного объекта, природно-климатические условия, в которых он сформировался и выносливость гидробионтов по отношению к загрязнителям. Помимо этого, ПДК<sub>эк</sub> учитывают наличие в водном объекте разных веществ и их совместное влияние на гидробионтов.

Однако равноценной замены ПДК, для нормирования качества воды, нет.

Требования к качеству воды регламентируются документами, которые устанавливают нормативы по отдельным показателям и свойствам воды:

1. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены приказом Росрыболовства от 18 января 2010 года № 20.
2. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Размер вреда, причиненного водным объектам, гражданам и хозяйственной деятельности, определяется в соответствии с **Методикой исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: утверждена постановлением Правительства РФ от 04.11. 2006 г. № 639**. Размер вреда определяется по величине компенсационных затрат на устранение последствий: истощения, загрязнения и засорения. При этом учитываются факторы, влияющие на его величину вреда (например, состояние водных объектов, природно-климатические условия, длительность и интенсивность негативного воздействия).

## 2.2 Основные положения использования и охраны водных объектов

Водные ресурсы – поверхностные и подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются или могут быть использованы. Водным объектом является природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима.

Водное законодательство регулирует отношения в области использования и охраны водных объектов (водные отношения) в целях обеспечения прав граждан на чистую воду и благоприятную водную среду путем:

- поддержания оптимальных условий водопользования;
- качества поверхностных и подземных вод в состоянии, отвечающем санитарным и экологическим требованиям;
- защиты водных объектов от загрязнения, засорения и истощения;
- предотвращения или ликвидации вредного воздействия вод, а также сохранения биологического разнообразия водных экосистем [6, 23].

Водопользование различается на общее, специальное и особое. Общее водопользование осуществляется бесплатно, но не предусматривает использование технических средств и сооружений. Специальное использование воды осуществляется с использованием технических средств и разрешается на основе договора водопользования. Особое водопользование предоставляется для целей обеспечения обороны страны и безопасности государства.

Основными мерами в области использования и охраны водных объектов являются:

- разработка водохозяйственных балансов как средства анализа состояния водных объектов и планирования использования водных ресурсов;
- составление схем комплексного использования и охраны водных ресурсов как обоснование и планирование мероприятий по охране водных объектов и использованию водных ресурсов;
- принятие государственных программ по использованию, восстановлению и охране водных объектов, которые необходимы для реализации планов по рациональному использованию, восстановлению и охране водных объектов. Принятые программы: «Восстановление Волги», «Экология», «Чистая вода» и другие [1, 7, 17, 22].

## 2.3 Общая схема использования водных ресурсов

Общая схема использования водных ресурсов включает блоки:

- анализ водохозяйственной обстановки и выявление первоочередных задач;
- обоснование мероприятий по управлению, экономии водных ресурсов и охране водных объектов;
- выбор способа использования водных ресурсов;
- оценка эффективности мероприятий.

**Анализ водохозяйственной обстановки и выявление первоочередных задач.** Общий объем забора воды из природных водных объектов составляет 80 км<sup>3</sup> в год, при этом используется около 62,5 км<sup>3</sup> воды. Т.е. около 22% воды теряется при транспортировке (средний к.п.д. систем водоснабжения 78%). Основными факторами использования водных ресурсов являются:

- применение устаревших водоемких производственных технологий;



Рисунок 2.1 – Нормы водопотребления в промышленности

Экономия даже 1% воды в промышленности позволит сократить потребление примерно 350 млн.м<sup>3</sup>. Этого достаточно для ежегодного водоснабжения более 13 млн.чел.

- высокий уровень потерь воды при транспортировке (*объем потерь воды при транспортировке в Российской Федерации составляет до 8 км<sup>3</sup> в год. Свыше 4,8 км<sup>3</sup> воды в год теряется в орошаемом земледелии из-за низкого технического уровня и значительной степени износа мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, около 3 км<sup>3</sup> в год, или более 20% общего объема поданной в водопроводную сеть воды, теряется в системах централизованного водоснабжения из-за их неудовлетворительного технического состояния*);
- недостаточная степень оснащённости водозаборных сооружений системами учета (*на долю, так называемого, прочего водоснабжения приходится 9% общего водопотребления или 7,2 км<sup>3</sup>*);
- отсутствие эффективных экономических механизмов, стимулирующих бизнес к внедрению прогрессивных водосберегающих технологий производства, систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения и сокращению непроемких потерь воды.

**Дефицит водных ресурсов.** Возникновение дефицита обусловлено следующими причинами:

- неравномерность распределения водных ресурсов по территории Российской Федерации;
- ограниченность регулирующих возможностей водохранилищ;
- недостаточная комплексность использования водных ресурсов.

Дефицит водных ресурсов для обеспечения нужд питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, складывающийся в периоды малой

водности в Республике Калмыкия, Белгородской и Курской областях, Ставропольском крае, отдельных районах Южного Урала и юга Сибири, а также для обеспечения сельскохозяйственных нужд на территории Саратовской, Астраханской, отдельных частях Волгоградской и Оренбургской областей, на Северном Кавказе может быть устранен сокращением потерь воды в системах водоснабжения, переходом на водосберегающие технологии полива.

В ряде случаев возникновение дефицита обусловлено не комплексным использованием водных ресурсов. Сложный узел проблем возник в низовьях р. Волги, где требуется системное переустройство водохозяйственного комплекса для оптимизации использования водных ресурсов в целях водоснабжения населения, сельскохозяйственного производства, рыбного хозяйства, сокращения холостых сбросов и потерь выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях Волжско-Камского каскада, а также сохранения уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги. Сложная водохозяйственная ситуация периодически складывается также в бассейнах рек Кубани и Терека [7, 16, 21].

**Несоответствие качества питьевой воды,** потребляемой значительной частью населения, гигиеническим нормативам. Так, услугами централизованного водоснабжения в Российской Федерации пользуются 75% населения. При этом в развитых странах, этот показатель составляет 90-95%. Из общего объема воды, подаваемой в централизованные системы водоснабжения населенных пунктов, через системы водоподготовки пропускается не более 59%. Около 27% водозаборов из поверхностных источников водоснабжения не имеют необходимого комплекса очистных сооружений. Некачественную по санитарно-химическим и микробиологическим показателям питьевую воду потребляет часть населения в Республике Ингушетия, Республике Калмыкия, Республике Карелия, Карачаево-Черкесской Республике, в Приморском крае, в Архангельской,

Курганской, Саратовской, Томской и Ярославской областях, в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и Чукотском автономном округе [4, 7].

**Охрана водных объектов.** В водные объекты Российской Федерации сбрасывается до 52 км<sup>3</sup> в год сточных вод. Из них 19,2 км<sup>3</sup> подлежат очистке, 72% которых недостаточно очищены, 17% - без очистки и только 11% - очищаются до нормативов. Со сточными водами ежегодно поступает около 11 млн. тонн загрязняющих веществ. Основные источники загрязнения: коммунально-бытовое хозяйство; промышленность; и агропромышленного комплекса (на долю которых приходится свыше 90%). Высокую степень воздействия на водные объекты оказывает диффузный сток с сельскохозяйственных и селитебных территорий. Сложившийся уровень антропогенного загрязнения является одной из основных причин, вызывающих деградацию рек, водохранилищ, озер, накопление в донных отложениях, водной растительности и водных организмах загрязняющих веществ, в том числе токсичных, и ухудшение качества вод поверхностных водных объектов, используемых в качестве источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и являющихся средой обитания водных биологических ресурсов. Наиболее напряженная экологическая ситуация сложилась в бассейнах рек Волги, Оби, Енисея, Амура, Северной Двины и Печоры, загрязнены также поверхностные воды бассейнов рек Дона, Кубани, Терека и рек бассейна Балтийского моря [3, 8, 20].

В целях повышения качества воды в водных объектах требуется решить следующие задачи:

- сокращение антропогенного воздействия на водные объекты и их водосборные территории;
- предотвращение деградации малых рек;
- охрана и предотвращение загрязнения подземных водных объектов.

Для восстановления и охраны, а также обустройства малых рек в качестве первоочередных мероприятий необходимо сократить антропогенное воздействие диффузного стока, восстановить самоочищающую способность рек, реализовать комплекс мероприятий по экологической реабилитации малых рек в городах и сельских поселениях.

**Обоснование мероприятий по управлению, экономии водных ресурсов и охране водных объектов.** Обоснование учитывает: экономические, экологические и водохозяйственные аспекты. Экономическое обоснование - связано с оценкой экономического ущерба от непроизводительных потерь воды. Экологическое – связано с оценкой степени ухудшения экологического состояния водных объектов. Водохозяйственное – обоснование делается на основе расчетов изменения условий водообеспеченности [4, 7, 8, 15, 16, 22].

**Оценка рациональности водопользования** связано с выбором конкретного мероприятия, например: введение водооборота, повторного водоснабжения, повышения к.п.д. системы водоснабжения, оптимизации водораспределения и др. Оценка эффективности мероприятия делается на основе показателей.

Коэффициент оборотного использования воды:

$$K_{об} = \frac{W_{об}}{W_{об} + W_{св}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $W_{об}$  и  $W_{св}$  – количество воды, используемой в оборотном водоснабжении и объем свежей воды, забираемой из источника.

Чем ближе  $K_{об}$  к 100%, тем эффективнее используется вода на предприятии. Для промышленности в целом  $K_{об} \approx 70\%$ , а на металлургических предприятиях, предприятиях нефтехимической и некоторых других отраслей промышленности  $K_{об}$  достигает 90...96%.

Коэффициент рационального использования воды, забираемой из источника промышленным предприятием, позволяет оценить долю использования свежей воды от объема безвозвратных потерь.

$$K_{и} = \frac{W - W_{вв}}{W_{св}} \leq 1, \quad (2.2)$$

где  $W_{вв}$  – объем возвратных вод.

Если  $K_{и} = 1$  то предприятие использует свежую воду только для компенсации потерь воды и безвозвратного водопотребления. Все сточные воды используются в повторных и оборотных системах водоснабжения.

Величина безвозвратного потребления и потерь воды в системе водоснабжения определяется как доля от общего объема потребляемой для изготовления продукции воды:

$$K_{бв} = \frac{W_{св} - W_{вв}}{W_{св} + W_{повт} + W_{об}}, \quad (2.3)$$

где  $W_{повт}$  и  $W_{об}$  – объем воды, используемый в повторно-последовательных и оборотных системах водоснабжения.

Средний объем безвозвратных потерь воды для промышленности в целом составляет  $P = 0.5... 30\%$ , для тепловых электростанций –  $1,2... 2\%$ .

При оценке *эффективности использования* вод рассчитывают коэффициенты, характеризующие отношение различных элементов баланса к валовому водопотреблению.

Коэффициент потребления свежей воды:

$$K_{св} = \frac{W_{св.пв} + W_{св.пз}}{\Sigma W}, \quad K_{св} \leq 1 \quad (2.4)$$

где  $W_{св.пв}$  и  $W_{св.пз}$  – соответственно, объем свежей воды, забранной из поверхностных и подземных водных объектов;

$\Sigma W$  – суммарное потребление воды. Коэффициент  $K_{св} = 1$  в случае использования прямоточной системы водоснабжения. Наличие оборотных и повторно-последовательных систем снижает значение коэффициента  $K_{св} < 1$ .

Коэффициент использования речного стока показывает полноту использования стока по длине реки:

$$K_{и.р} = \frac{W_{св} + W_{ущ} + W_{дис} + W_{поп}}{W_{р}}, \quad (2.5)$$

где  $W_{ущ}$  – ущерб речному стоку вследствие отбора подземных вод;  $W_{дис}$  – дополнительное испарение с поверхности водохранилищ;  $W_{поп}$  – необходимые попуски из водохранилищ;  $W_{р}$  – естественный (или восстановленный) речной сток.

Если речной сток не используется  $K_{и.р} = 0$ . В случае использования реки для хозяйственных целей  $K_{и.р} > 0$ . Так, например, если осуществляется водопотребление при отсутствии водохранилищ и прудов,  $K_{и.р} \leq W_{экол}/W_{р}$ , где  $W_{экол}$  – объем экологически допустимого стока. В этом случае, чем больше оказано истошающее воздействие на реку, тем меньше значение коэффициента. При наличии одного водохранилища и использование всего стока для выработки электроэнергии на ГЭС  $K_{и.р} \rightarrow 1$ . Наличие каскада водохранилищ с ГЭС позволяет многократно использовать попуски для выработки энергии и  $K_{и.р} > 1$ .

#### 2.4 Экологические законы рационального водопользования

**Закон подобия части и целого:** часть является копией целого, а потому все части одного уровня иерархии систем похожи друг на друга. На этом законе основано биотестирование и биоиндикация качества и экологического состояния водных систем. Гидрологи используют данный закон в методах аналогии. Проведение статистических прогнозов путем экстраполяции полученных закономерностей в неизученную область.

**Аксиома эмерджентности:** целое имеет особые свойства, отсутствующие у его частей (подсистем) и не равно сумме элементов, не объединенных системообразующими связями. Целостная система подчиняется иным (хотя возможно, и подобным) законам формирования, функционирования и эволюции. Например, одно дерево еще не лес, как и группа деревьев. Механическое скопление химических элементов, молекул органиче-

ских веществ, даже тканей и органов, не образует организма. Для леса необходимо сочетание всех его экологических компонентов, составляющих именно его экосистему, образование круговоротов веществ, регуляция потока энергии, в том числе образование собственного биоклимата, и т. д. Для организма требуется «энтелехия» (*активное начало, превращающее возможность в действительность, актуальность и тем самым исчерпывающее возможность или потенциальность; энергия; душа человека, распоряджающаяся формированием, изменениями и деятельностью его тела*) системной целостности, обмена веществ и других свойств биосистемы.

**Закон увеличения степени идеальности (Г. В. Лейбница), или «эффект Чеширского кота» (Льюиса Кэрролла):** гармоничность отношений между частями системы историко-эволюционно возрастает. Данный закон хорошо иллюстрируется в человеческих сообществах, когда после прохождения времени (когда люди «притираются» друг к другу) формируется работоспособный коллектив. Аналогичное происходит в экосистемах, например, воссоздание леса начинается с посадки саженцев, что не означает формирование леса, т.к. никакие природные функции лесопосадка еще не выполняет. Только когда растения приживутся и создадут условия для других видов растительных и животных организмов сформируется самоподдерживающаяся система. Аналогичное можно сказать о водохранилищах. В соответствии с данным законом, не следует ожидать мгновенного эффекта от проведения водоохранных мероприятий. Должно пройти время за которое установится новое экологическое равновесие между основными элементами гидробиоты.

**Закон оптимальности:** с наибольшей эффективностью любая система функционирует в некоторых характерных для нее пространственно-временных пределах (или: никакая система не может сужаться или расширяться до бесконечности). Размер системы должен соответствовать выполняемым ею функциям. Обычно такой размер называют характерным раз-

мером системы. Так, сформированная природой река является продуктом водосборной площади. Антропогенное использование территории виртуально снижает площадь на которой формируется необходимый существующей реке объем и качество стока.

**Принцип Ле Шателье-Брауна:** при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния равновесия, оно смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. В соответствии с данным принципом осуществляется самоочищение воды. Сброс загрязненных стоков в водный объект приводит к повышению концентрации вещества в воде (выводит систему из равновесия). Это активизирует процессы самоочищения: поглощение веществ растениями, сорбция их донными отложениями, разбавление загрязненных вод более чистыми и др. (данные процессы стремятся снизить концентрацию загрязнителя).

**Принцип преломления действующего фактора:** внешние для систем воздействия проявляются не прямо, а опосредованы процессами функционирования этой системы, т.е. они могут быть ослаблены ее буферными свойствами или усилены возникающими цепными реакциями. Этот принцип используется при создании геоэкологических барьеров. Водные экосистемы создают себе барьеры, например в виде прибрежных территорий. Они позволяют осуществить плавный переход от наземных к водным экосистемам. Поэтому водоохранные зоны очень важны для водных объектов. Аналогичными барьерами являются лесополосы.

**Закон растворения системы в чуждой среде:** при большой разнице «культурного острова» и среды, в которой он находится, этот «остров» бывает уничтожен. Этот закон определяет: появление сорняков в агроценозах и необходимость борьбы с ними (в данном случае «культурным» островом являются выращиваемые сельскохозяйственные растения, которые могут быть уничтожены сорной растительностью); сложности с разведением новых видов рыб в водоемах; благоустройство территории (когда среди при-

родных объектов обустроивается территория, например дача, которая требует постоянного ухода. Если уход не осуществлять, данный «культурный» остров будет уничтожен естественной растительностью). Понятие «культурного острова» может видоизменяться. Если антропогенное воздействие несущественно, то оно является этим самым островом и природа пытается «растворить» его с помощью своих защитных механизмов. Но если воздействие очень большое, оно может превратить природные объекты в остров, который будет уничтожен, что приводит к экологической катастрофе.

**Правило соответствия условий обитания генетической предопределенности организма:** вид организмов может существовать до тех пор и постольку, поскольку окружающая его среда соответствует генетическим возможностям приспособления этого вида к ее колебаниям и изменениям. Данное правило используется при разработке экологических нормативов предельно допустимых воздействий на водные объекты, например, концентраций загрязняющих веществ или определить экологически допустимый объем изъятия воды из природных объектов. Правило используется и при выращивании сельскохозяйственных растений, когда среда произрастания изменяется в соответствии с их требованиями (например, поддерживаются оптимальные пределы изменения влажности почвы, содержания питательных веществ).

**Закон пирамиды энергий, или закон (правило) 10%** - с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий ее уровень в среднем около 10% поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии. Обратный поток намного слабее и составляет не более 0,5...0,25% от общего ее потока, потому говорить о круговороте энергии в биоценозе не приходится. Данный закон позволяет определить степень допустимого воздействия на экосистему и оценить изменения структуры системы.

**Правило экологического дублирования:** исчезающий или уничтожаемый вид живого в рамках одного уровня экологической пирамиды заменяет другой функционально-ценотический, аналогичный, по схеме: мелкий сменяет крупного, эволюционно ниже организованный сменяет более высокоорганизованного, более генетически лабильный и мутабельный заменяет менее генетически изменчивого. Это определяет однозначное ухудшение состояния природной системы, снижение ее устойчивости и ухудшение качества. Все это проявляется в появлении «живучих» видов организмов, которые могут быть патогенными. В частности этим правилом объясняется появление вирусов СПИД, коронавируса и т.п.

**Правило меры преобразования природных систем:** в ходе эксплуатации природных систем нельзя переходить некоторые пределы, позволяющие этим системам сохранять свойство самоподдержания и обычно ограниченные заметным изменением природных систем трех сопряженных уровней иерархии. Правило используется для определения допустимого воздействия на природные объекты, развитие хозяйственной деятельности.

**Правило цепных реакций «жесткого» управления природой:** «жесткое» - техническое управление природными процессами через цепными природными реакциями, значительная часть которых оказывается экологически, социально и экономически неприемлемыми в длительном интервале времени. Экономические цели, к которым стремятся люди, часто оказываются в тени мощных цепных реакций. пример этого — антропогенная катастрофа Аральского моря. Другим примером порождения цепных реакций являются косвенные источники воздействия на водные объекты. Так при использовании земель для выращивания с/х культур на землях изменяются условия формирования стока воды в реки после выпадения осадков и таяния снега. Снижается объем стока, время снеготаяния снижается, что увеличивает максимальные расходы вызывающие водную эрозию и увеличивающие вымыв веществ из почвы. Как результат, наблю-



дается истощение и загрязнение рек, увеличивается вероятность и опасность затопления земель.

**Правило старого автомобиля:** со временем эколого-социально-экономическая эффективность технического устройства, снижается, а экономические расходы на его поддержание возрастают. Устаревшее техническое устройство (например, не рациональное водопользование вызвано устаревшим оборудованием, технологиями и используемыми методами, что требует их замены. Даже несмотря на то, что они еще пригодны и работоспособны, их необходимо заменить на новые, современные и экологически безопасные).

**Правило «мягкого» управления природой** – управление построенное на сохранении полезных природных цепных реакций (или переходе их на новую ступень развития), в том числе процессов восстановления и возобновления ресурсов. Правило используется в биологизированных методах ведения «органического» сельского хозяйства, наиболее прогрессивные методы ведения лесного хозяйства и т. д. На принципе «мягкого» управления была основана широкая мелиорация, проводившаяся в прошлом веке генералом И. И. Жилинским в Белоруссии и в Сибири. Та же идея заложена в основе культивации полезационных лесных полос, в докучаевской системе земледелия. В настоящее время данное правило реализуется в системе комплексной мелиорации, основы, методы и принципы которой разработаны и развиваются в Проблемной лаборатории института мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова под управлением В.В. Шабанова.

**«Железные законы» охраны природы П. Р. Эрлиха:**

1. В охране природы возможны только успешная оборона или отступление. Наступление невозможно, т.к. вид или экосистема, однажды уничтоженные, не могут быть восстановлены.

2. Продолжающийся рост народонаселения и охрана природы принципиально противоречат друг другу.
3. Экономическая система, охваченная манией роста, и охрана природы также принципиально противостоят друг другу.
4. Смертельно опасно представление, что при выработке решений об использовании Земли надо принимать во внимание одни лишь ближайшие цели и немедленное благо.
5. Аргументы об эстетической ценности различных форм жизни и интересе, который они представляют сами по себе, призывы к сочувствию по отношению к нашим живым спутникам жизни попадают в уши глухих.

**Принцип разумной достаточности и допустимого риска:** расширение любых действий человека не должно приводить к социально-экономическим и экологическим катастрофам, подрывающим саму возможность существования людей. Примером нарушения этого принципа служит создание гигантских водохранилищ. Изначально неизвестны последствия для природы и даже способы их эксплуатации. Поскольку их эксплуатация определяется не только техническими возможностями, а и изменяющимися политическими, экономическими и социальными условиями, которые очень не предсказуемы.

**Принципа неполноты информации (принципа неопределенности):** информация при проведении акций по преобразованию и любому изменению природы всегда недостаточна для априорного суждения о всех возможных результатах таких действий, особенно в далекой перспективе, когда разовьются все природные цепные реакции. Это требует развитие мониторинга водных объектов и условий их формирования, т.т.с. своей водосборной площади.

**Принцип инстинктивного отрицания (признания)** состоит в том, что факты и закономерности, в глубине подсознания концептуально отри-

цаемые исследователем, неосознанно им пренебрегаются, а фактам, признаваемым верными, инстинктивно придается больший вес, чем они имеют в реальности. В конечном итоге получается результат, который был «желаем» и к которому исследователь подсознательно и сознательно стремился, или получается результат, близкий к субъективно желаемому (но не объективному) положению вещей. Например, переоценка своих возможностей может привести к срыву планируемой работы. Не правильное выявление основных источников ухудшения качества воды может привести к большим затратам на водоохраные мероприятия и минимальной их эффективности.

**Принцип обманчивого благополучия, или эйфории первых успехов** – первые успехи или неудачи в природопользовании могут быть кратковременными: успех мероприятия по преобразованию природы или управлению ею объективно может быть оценен лишь после выяснения хода и результатов природных цепных реакций в пределах естественного природного цикла (от немногих лет до их десятков) и лишь после возникновения нового уровня экологического баланса.

### 3. МОНИТОРИНГ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- Первичный контроль. Статистическая форма отчетности использования водных ресурсов.
- Общая схема контроля использования водных объектов.
- Методы мониторинга водных объектов.
- Средства мониторинга.

#### 3.1 Первичный контроль. Статистическая форма отчетности использования водных ресурсов

Водопользование осуществляется при организации надлежащего учета фактического водозабора и сброса сточных вод. Учет проводится на основе ведения журналов первичной отчетной документации (ПОД) и формы статистической отчетности:

- форма ПОД-11 – заполняется на основе измерения объемов использованной воды прямыми методами (водоизмерительными приборами: счетчики воды, тарифированные водосливы);
- форма ПОД-12 – заполняется на основе определения объемов использованной воды косвенными методами (например, по объемам потребляемой электроэнергии, по объему выпускаемой продукции и нормам водопотребления, по диаметру трубопроводов)
- форма ПОД-13 - журнал учета качества сбрасываемых сточных вод.

Первичная отчетная документация используется для составления формы 2-ТП (Водхоз) «Сведения об использовании воды» - форма государственной статистической отчетности по забору воды, сбросу сточных вод и их загрязненности. Данная форма является основной для составления водного кадастра использования воды.

#### 3.2 Общая схема контроля использования водных объектов

Контроль состояния водных объектов и использования водных ресурсов осуществляется в рамках системы государственного мониторинга.

В России ведется постоянный контроль качества поверхностных и подземных вод. На 1300 водных объектах (реках и водохранилищах) имеется около 4,5 тысяч специальных пунктов слежения (гидрологические посты, гидрохимические станции и др.).

Государственный мониторинг водных объектов – это **система наблюдений, оценка и прогноз изменений состояния водных объектов. Цель мониторинга водных ресурсов** - информационное обеспечение управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе для государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

**Задачи мониторинга** являются:

- наблюдения за состоянием водных объектов, количественными объектами (*скорости течения, уровни воды, расходы*) и качественными объектами (*концентрации веществ в воде, pH, t °C и др.*) показателями состояния водных ресурсов (*уровень трофности, уровень сапробности*), а также за режимом использования водоохранных зон (*соблюдением границ, проведение санитарных вырубок больных деревьев, скашивание водной растительности в конце теплого периода, установка дорожных знаков*);
- выявление закономерностей формирования водных ресурсов (*связь расходов с запасами снега на водосборе, зависимость модулей стока от параметров рельефа местности, получение районированных зависимостей Cv, Cs*)
- прогноз влияния антропогенной деятельности на водные объекты (*изменение среднемноголетнего стока, влияние глобального изменения климата на сток рек, изменение вероятности максимальных уровней воды*);
- сбор, обработка и хранение полученной информации для оценки и прогнозирования изменений состояния водных объектов, количест-

венных и качественных показателей состояния водных ресурсов (*создание баз данных гидрологических величин*);

- ведение государственного водного реестра.

Мониторинг водных объектов включает: наблюдения за состоянием водной толщи, дна (*отложение наносов, образование осередков и побочной*), берегов (*берегообрушение, форма берегов*), состоянием и режимом использования водоохранных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей.

Методы мониторинговых наблюдений можно разделить на группы.

- **Методы аэрокосмического наблюдения** - наблюдения с воздуха, средствами космической или авиаразведки. Это позволяет контролировать общую ситуацию на больших площадях. Например: наблюдения за формированием стока на водосборной территории, выявление источников воздействия на водные объекты, отслеживать «визуально» наблюдаемые изменения состояния водного объекта, в том числе оценка параметров, характеризующих состояние донного грунта.
- **Наземные методы**, являются основными, с точки зрения идентификации объектов наблюдения, определения точности и привязки результатов воздушных наблюдений.
- **Расчетные методы** – расчетный мониторинг основанный на использовании прогностических или имитационных моделей.

Наибольший эффект достигается применением всех методов одновременно, с частичным дублированием.

### 3.3 Методы аэрокосмического наблюдения

Средства воздушной разведки позволяют, например, следить за изменениями условий руслоформирования, в том числе, вследствие изменений состояния донных отложений. С этой целью определяются комплексные характеристики русла в конкретных створах, которые контролируются

с воздуха. Первоначально они привязываются, а в дальнейшем периодически уточняются наземными методами.

### 3.3.1 Использование средств космического и воздушного базирования

Глобальная Навигационная Спутниковая Система «ГЛОНАСС» предназначена для непрерывного обеспечения неограниченного числа потребителей высокоточной координатно-временной информации в любой точке Земли независимо от метеоусловий. Современные многоканальные приемники обеспечивают достаточно высокую точность.

Средства воздушной разведки позволяют осуществлять оптическое, инфракрасное (тепловое) и электромагнитное сканирование местности.

Спутниковые изображения могут быть выполнены в видимой, ультрафиолетовой, инфракрасной части спектра, с помощью радарной съёмки. Дешифрование и анализ спутниковых снимков выполняется с помощью автоматизированных программных комплексов, которые позволяют подготавливать снимки для использования в ГИС и САПР.

Спутниковые фотографии имеют, на сегодняшний день, разрешающую способность 60 см (в массовом использовании задействованы аппараты с разрешением 6м), а в перспективе позволят опознавать объекты на поверхности Земли размером менее полуметра. В последнее время при производстве аэрофотосъёмки используются системы GPS и ГЛОНАСС.

Таблица 3.1 – Требования к спутниковым системам

Вид параметра	Разрешение, м			Частота наблюдений, 1 раз в		
	макс	мин	опт	макс	мин	опт
Топография	1	20	10	2 года	5 лет	год
Типы растительного покрова	10	150	20	месяц	3 месяца	2 месяца
Землепользование	10	150	20	3 месяца	6 месяцев	6 месяцев

Космическая съёмка дает возможность получать многозональную информацию высокого и среднего разрешения с помощью сканеров видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Комплекс научной аппаратуры позволяет оперативно не более 2 раз в сутки получать изображения в видимом и инфракрасном диапазонах.

Спутниковые системы позволяют осуществлять контроль:

1. залповых выбросов загрязняющих веществ в водные объекты (что позволяет выявлять участки риска загрязнения донных отложений);
2. крупных или постоянных загрязненных сбросов (выявляются проблемные участки загрязнения донного грунта);
3. техногенное влияние на состояние водных объектов (образование конусов выноса грунта при разрушении берегов, обмеление и зарастание водных объектов);
4. сезонных паводков и разливов рек (основные гидрологические фазы по условию руслоформирования);
5. состояния водосборной площади, как источника рассредоточенного воздействия (выявляется влияние диффузионных источников загрязнения, эрозии почв).

Аэрофотосъёмка осуществляется с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, с высоты от 10 до 2000 м и более на протяжении десятков и сотен километров.

Детальная съёмка обеспечивается дистанционно управляемыми аппаратами, которые способны стартовать в непосредственной близости от снимаемого объекта. Преимуществами использования беспилотных летательных аппаратов являются:

1. **высокое разрешение на местности** - видны мельчайшие детали рельефа, и объекты сантиметрового размера;
2. **оперативность** - весь цикл, от выезда на съёмку до получения конечных результатов занимает несколько часов;

3. **возможна детальная съемка небольших объектов** - технология позволяет проводить фотосъемку небольших объектов и малых площадок там, где сделать это другими видами аэрофотосъемки совершенно нерентабельно, а в ряде случаев и технически невозможно;
4. **низкая стоимость** – в 10 раз дешевле традиционных методов аэрофотосъемки (10-15 тыс. руб./час при стоимости самого летательного аппарата около 30...40 тыс. руб);
5. **облегченная процедура получения разрешений на полет.**

### 3.3.2 Использование беспилотных летательных аппаратов

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) позволяют в автоматическом режиме, контролируемом с помощью компьютера, выполнять программу полета: от взлета до посадки. Оператор, в режиме реального времени, следит за полетом и имеет возможность изменять маршрут, загружая новые полетные задания. Относительно невысокая стоимость аппаратов (от 30 тыс. руб.), а также малые размеры делают их перспективной альтернативой традиционной авиации в деле мониторинга.

Дальность полета беспилотных средств позволяет охватывать территорию бассейна малой реки. Аппараты оснащаются видео -, фотосредствами и тепловизорами, которые способны передавать информацию в реальном времени.

Эксплуатация комплекса, состоящего из 2...4 летательных аппаратов и станции управления, обеспечивается операторами из 2–3 человек. В работах используются фотокамеры с разрешением не менее 12 Мп, при высоте съемки 150 ... 300 м и частоте съемки 1 кадр в секунду вне зависимости от облачности. Высокое разрешение снимков и автоматическое позиционирование с использованием GPS позволяют проводить съемку и последующую обработку результатов. Эффективной технологией является проведение тепловизионной съемки в инфракрасном диапазоне (8–12 мкм).

Существуют методики совместного использования данных фотографической съемки с беспилотных летательных аппаратов и данных, получаемых с космических аппаратов. Удельная стоимость при этом на порядок ниже стоимости аналогичных работ, выполняемых с использованием пилотируемой авиации.

### 3.4 Методы биотестирования состояния водных объектов

Действующая в настоящее время система экологического контроля загрязненности среды основана на концепции предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Однако известно, что концепция ПДК экологически не обоснована [10].

Альтернативой методологии ПДК, может служить биотический подход (биотестирование и биоиндикация). Биотический подход реализуется набором методов необходимых для получения оценок состояния сообществ, с помощью которых можно отличить экологически благополучную экосистему от экосистемы, с существенными изменениями, вызванные внешними, в первую очередь – антропогенными, воздействиями. Систематический контроль изменения выбранных оценок состояния составляет основу биологической части экологического мониторинга. Выявление физико-химических изменений экосистемы позволит отслеживать изменение условий существования биоты и количественно определять ее выход за установленные границы стабильного существования. Это математические методы анализа, позволяющие установить экологически допустимые уровни воздействия на водные системы.

Учитывая специфику проведения мониторинговых исследований водных объектов, включающих оценку состояния водной толщи, донных отложений и биоты, к методам биотестирования предъявляются требования:

- относительная простота, позволяющая проводить исследования техническому персоналу службы мониторинга;
- достоверность и сопоставимость результатов;
- оперативность и объективность получаемой информации;
- низкая относительная стоимость.

### 3.5 Расчетные методы мониторинга

Наблюдения за изменением параметров состояния водного объекта могут быть непосредственными и опосредованными. Многие параметры, характеризующие природные процессы трудно измеримы. В этом случае прибегают к вычислению их через величины, массовое измерение которых налажено в системе контроля состояния окружающей среды. Понятия мониторинга в этом случае расширяется. Появляется возможность не только измерять базовые параметры, но выполнять прогноз тех параметров, измерение которых затруднено или невозможно. В этом случае речь идет о расчетном мониторинге.

Мониторинг позволяет выявить процессы происходящие в водном объекте, их направленность и интенсивность в зависимости от внешних и внутренних факторов природного и антропогенного характера. Протекающие в водных объектах процессы по скорости и характеру протекания делятся на постоянные, циклические и чрезвычайные (связанные с авариями, катастрофами, стихийными и экологическими бедствиями). Система расчетного мониторинга, в настоящее время, больше применима к природным процессам циклического характера и постоянным антропогенным процессам. Однако, несмотря на трудности математического моделирования и прогноза чрезвычайных ситуации, интерес к ним, возможность и необходимость их проведения обоснованы важность для человека.

Цель расчетного мониторинга связана с необходимостью принятия управляющих воздействий при возникновении или угрозе возникновения

негативного проявления природный или антропогенных процессов. Основными задачами являются:

- своевременное выявление изменений состояния водного объекта;
- оценка и прогноз происходящих изменений;
- выработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных последствий;
- информационное обеспечение заинтересованных лиц.

Решение задач связано с разработкой методов, которые позволяют дать оценку состояния системы. В этом случае необходимо использовать комплексные показатели, пригодные для прогностических целей. Такие показатели состояния выражаются как в абсолютных, так и относительных значениях, отнесенных к определенному периоду времени.

Понятия мониторинга, при использовании расчетных методов, расширяется, так как происходит не только измерение базовых параметров, но и прогноз параметров, измерение которых затруднено или невозможно.

Расчетный мониторинг может быть использован для водных объектов и их компонентов. При ведении мониторинга выявляются процессы:

- эволюционные и антропогенные;
- циклические и связанные с чрезвычайными ситуациями.

В результате математического моделирования определяются проблемные участки, которые могут возникнуть при определенных условиях, требующие проведения мероприятий по улучшению экологического состояния водного объекта. Данный вид мониторинговых исследований позволяет снизить объемы инструментального мониторинга.



Рисунок 3.1 – Этапы расчетного мониторинга

Достоинства расчетного мониторинга.

1. Система расчетного мониторинга может служить инструментом для принятия управленческих решений,
2. Отличительной чертой является возможность провести оценку состояния водного донного грунта с учетом оценки его биологической составляющей.
3. Применимость для анализа и прогноза развития эволюционных, циклических и антропогенных процессов.
4. Расчетный мониторинг может использоваться для оперативного слежения за состоянием водных объектов, включая состояние донного грунта (оперативный или дежурный мониторинг) с использованием данных базового и периодического мониторинга. Полученные результаты при этом легко совмещаются с банками данных автоматизированных информационных систем.
5. Используя систему расчетного мониторинга можно получать карты изменения состояния донного грунта на больших территориях. Осу-

ществить прогноз биопродуктивности бентосных организмов, а значит и рыбопродуктивности (например, рыб бентофагов), в зависимости от изменения условий внешней среды. Осуществлять исследование возможных ситуаций при изменении условий антропогенной нагрузки, климата.

Расчетный мониторинг предлагает гибкую, адаптируемую к изменяющимся потребностям условиям и потребностям систему, которая позволяет пользователям извлекать, анализировать и критерияльно оценивать данные в различных контекстах, обеспечивая многоцелевой анализ.

## 4. ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

### 4.1 Цели использования водных ресурсов

Водные объекты используются для следующих целей:

- **Питьевое водоснабжение:** питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения городов и сельских поселений; здравоохранения.
- **Промышленное:** промышленность и энергетика (ТЭС, АЭС).
- **Орошение.**
- **Прочее водоснабжение:** лесное хозяйство, рекреация, транспорт; строительство; пожарная безопасность; охотничье хозяйство; добыча полезных ископаемых, торфа и сапропеля; иные цели.
- **Водный транспорт и лесосплав.**
- **Рыбное хозяйство.**
- **Энергетика.**

Использование водных объектов осуществляется с изъятием (водопотребление) либо без изъятия (сброс сточных вод и водопользование) водных ресурсов. При этом водные объекты используются для одной или нескольких целей. В последнем случае говорят о многоцелевом (комплексном) водопользовании [7, 14,16,18, 21].

### 4.2 Проблемы использования водных ресурсов

**Неравномерность размещения водных ресурсов пространстве и времени.** Не совпадение требований к воде с их наличными ресурсами в основном связаны с неоднородностью их распределения. Влияние пространственной неравномерности проявляется в том, что большая часть водных ресурсов России (90%) сосредоточена в бассейнах Северного Ледовитого и Тихого океанов, где проживает менее 20% населения Страны. При этом наибольшее количество населения России и хозяйственного потенциала страны сосредоточены в бассейнах Черного, Каспийского и, в меньшей степени, Балтийского морей. На эти территории приходится око-

ло 10% речного стока (рис. 4.1, 4.2). Здесь наиболее остро проявляется дефицит водных ресурсов.

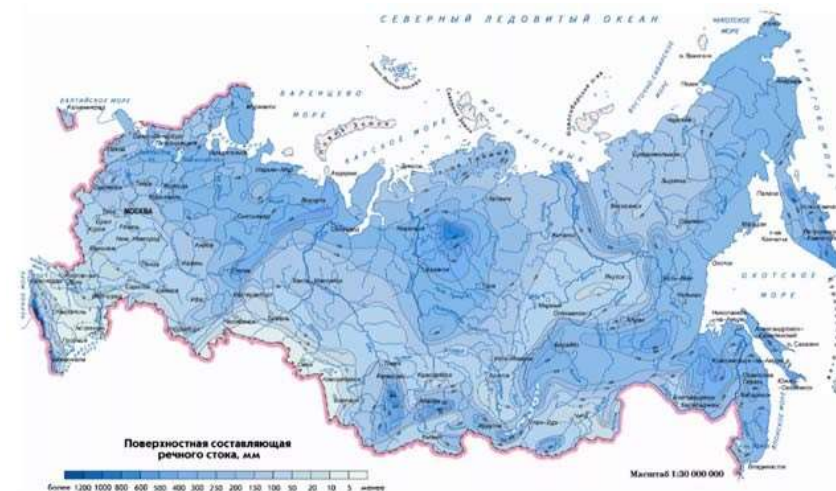


Рисунок 4.1 – Ресурсы поверхностных вод в России

В многоводные годы сток крупнейших рек России в 1,5...2 раза выше, а в маловодные – настолько же ниже нормы. Еще больше сезонные колебания стока.

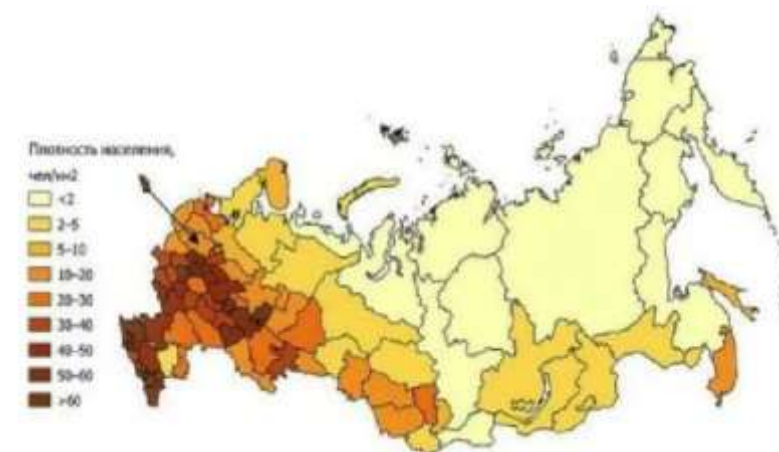


Рисунок 4.2 – Плотность населения России



Например, в естественных условиях, до строительства водохранилищ у Волги и Дона, на весну приходилось 60...70% годового стока, а на зиму лишь 10%. Колебания речного стока затрудняют транспортное использование рек, работу гидроэлектростанций, снабжение водой промышленности, сельского хозяйства, обеспечение бытовых нужд.

**Большие нормы водопотребления.** Важной проблемой является завышенное потребление воды отечественной промышленностью, что связано с несовершенством технологий, которые характеризуются большими нормами водопотребления. Это приводит к большим объемам водопотребления. Так, в Германии на производство 1 единицы ВВП (валовой внутренний продукт) тратится менее 1,5 тыс. м<sup>3</sup> воды, то в России этот показатель достигает 4,5 тыс. м<sup>3</sup>. Проблема нерационального использования водных ресурсов отчасти связана с их низкой стоимостью платы за воду (в России водный налог за водопотребление изменяется для водных объектах в пределах 246...306руб/тыс. м<sup>3</sup>). В России водный налог в структуре стоимости промышленной продукции колеблется от 0,01 % до 0,1 %, в стоимости гидроэнергетики составляет 1%, в стоимости услуг ЖКХ – 2,5%. Это не стимулирует ресурсосбережение и не подталкивают потребителей к экономному расходованию воды и поддержанию водохозяйственной инфраструктуры в надлежащем виде. Ряд крупнейших водопользователей (сельское хозяйство и водный транспорт) совсем не платят за использование водных объектов.

Ежегодно из всех водных источников в стране изымается около 80 км<sup>3</sup> воды, что больше годового стока таких рек как: Нева, Кубань, Урал, Терек. Забор воды из некоторых рек составляет четверть их годового стока. Это существенно сказывается для рек в маловодные годы. Возвращается в поверхностные источники около 60 км<sup>3</sup> воды. При этом безвозвратные потери составляют 20 км<sup>3</sup> воды. Основные потребители воды: жилищно-коммунальное хозяйство, промышленность и орошение (рис. 4.3). Большие

потери водных ресурсов связаны с несовершенством технологических процессов, утечками в водопроводных сетях. Помимо хозяйственных потерь много влаги испаряется с поверхности водохранилищ.



Рисунок 4.3 – Структура водопотребления в России и Мире

Проблема дефицита пресной воды нарастает во всем Мире, в котором проживает 6,5 млрд. человек с их потребностями в развитии промышленности, выращивании с/х продукции. Причем водоемкость в сельском хозяйстве не уменьшается (рис.4.4), а современные маловодные технологии используются только в отдельных экономически развитых странах [13, 21].

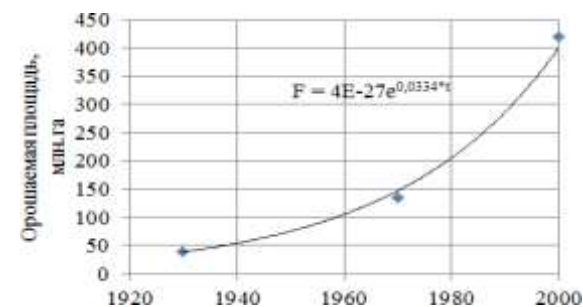
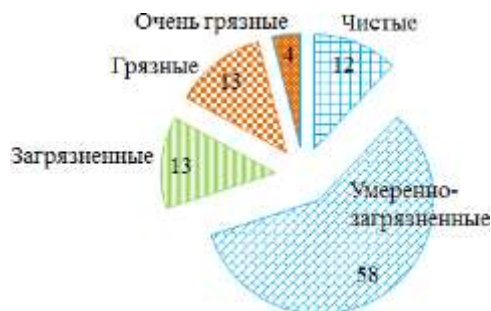


Рисунок 4.4 – Изменение площади орошаемых земель в мире, млн. га

Проблемы дефицита пресной воды давно вышла за рамки отдельных государств. В истории и в современном мире есть примеры совместного использования водных ресурсов (трансграничные водные объекты), как когда-то было в междуречье Тигра и Евфрата, как современное использование Дуная, Рейна, откуда благополучно используют воду 9 стран. Россия заключила договоры по использованию 29 трансграничных водных объектов с Финляндией, Монголией, Китаем, Республикой Казахстан, прибалтийскими и кавказскими государствами.

**Загрязнение воды.** Одна из причин дефицита воды в мире это загрязнение природных источников. В России, для водопотребления используется 2% речного стока, в результате чего загрязняются 98% общего стока. Основными источниками загрязнения являются: жилищно-коммунальное хозяйство, промышленность и сельское хозяйство. Их влияние приводит к тому, что качество воды в 42% рек, озер и водохранилищ, в среднемноголетний год, не отвечает нормативам (рис. 4.5) [5, 7, 9].



**Рисунок 4.5 - Структура качества поверхностных вод России в среднем году**

Значительная часть загрязняющих веществ поступает в реки и озера со сточными и тальными водами. Вода всех крупнейших рек России – Волга, Дон, Обь, Енисей – оценивается как «загрязненная», а в некоторых их притоках как «очень загрязненная».

В большинстве случаев качество воды ограничивает ее использование. Особенно это касается таких отраслей, как КБХ, рыбное хозяйство, рекреация, пищевая и целлюлозно-бумажная промышленность. При этом, более половины населения России вынуждено пить загрязненную воду.

*В Москве и других крупных городах используются противогололёдные химические реагенты, которые с тальными водами стекают в реки. В московском регионе (Москва и Подмосковье).*

*Талые воды и стоки, образующиеся после выпадения дождей и поливов улиц, содержат загрязняющие вещества (тяжелые металлы, нефтепродукты, масла) от более чем 6 млн. автомобилей. Загрязнения, которую они переносят, также поступают в водные объекты [2, 3, 8, 21].*

*В целом, загрязненные стоки с территории городов дают до 60% загрязнения рек.*

**Бесконтрольность использования воды.** Питьевую воду в России потребляют достаточно бесконтрольно. Например, в Москве, официальная норма водопотребления оценивается 500 л/сут.чел, а реально около 165 л/сут.чел. Разница идет на нелегальные заборы воды, потери в проржавевших трубопроводах и прочие потери. В среднем в Европе норма водопотребления составляет 150..160 л/сут.чел., а в Берлине 120...130 л/сут.чел. Многое зависит от цены на воду. В России кубометр воды стоит 0,2...0,3 евро, а в Западной Европе 3...4 евро, т.е. почти в 15 раз дороже. Следует отметить, чем меньше воды используется, тем меньше стоков и соответственно, меньше приходится их чистить. Уменьшение водопотребления для России проблема актуальная.

**Большие потери воды.** Потери воды при транспортировке изменяются в пределах 3...25% (при относительной норме 5%). Высокие потери отмечаются в бассейнах Дона и Кубани, где большое количество воды используется для орошения и транспортировка осуществляется по открытым каналам (табл.4.2) [13, 14].

Таблица 4.2 – Составляющие объемы использования водных ресурсов по бассейнам крупных рек России, % от объема водопотребления

Составляющие баланса	Волга	Обь	Дон	Енисей	Кубань	Урал	Амур	Лена
Объемы водопотребления, млн.м <sup>3</sup>	16511	9262	4799	2450	10297	1198	786	339
Использование свежей воды	85	90	105	86	44	94	81	65
<b>Потери воды при транспортировке</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
Объем оборотного использования воды	272	340	355	152	20	453	627	468
Коэффициент водооборота	0,73	0,77	0,78	0,60	0,17	0,82	0,86	0,82
Сброс загрязненных сточных вод	30	17	11	31	3	39	40	17

## 5. МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Методы рационального водопользования направлены на решение задач:

- гарантированное обеспечение водными ресурсами населения и предприятий. Проблемы водообеспечения связаны с природными факторами (например, маловодные годы) и человеческими факторами (растущие потери и объемы потребляемой воды, которые определяются высокими нормами водопотребления (например, в Германии на производство 1 единицы ВВП тратится менее 1,5 тыс. м<sup>3</sup>, а в России 4,5 тыс. м<sup>3</sup>).;
- охрана и восстановление водных объектов. Загрязненность водных объектов на территории России остаётся стабильно высоким из-за недостаточной эффективности очистки сточных вод или отсутствия очистных сооружений. (например, сточные воды ЖКХ (95%), поступающие в реки, недостаточно очищены). В результате развития сельского хозяйства мелеют и исчезают ручьи и малые реки (например, процент таких водотоков в Центральном регионе превысил 30%);
- информирование населения об использовании воды и способах ее экономии;
- формирование «экологического сознания» у населения.

## Классификация методов рационального водопользования

При использовании водных ресурсов отраслями хозяйства и проектировании водохозяйственных межотраслевых систем разрабатываются методы управления количеством и качеством водных ресурсов. В настоящее время для этих целей используются следующие методы:

1. переход на экологически безопасные (маловодные) технологии;
2. внедрение прогрессивных систем водоснабжения;
3. устранение непроизводительных потерь воды;
4. ограничение водопотребления и водопользования.

### Переход на экологически безопасные технологии

Данный метод позволяет управлять количеством и качеством водных ресурсов. Эффективность его основана на снижении нормы водопотребления и снижении их загрязненности сточных вод (причем, новые технологии не должны приводить к образованию новых ядовитых веществ) [7, 15, 16].

В коммунально-бытовом хозяйстве, примером перехода на маловодные технологии может служить использование биотуалетов, которые принимают отходы и, с помощью зараженной микроорганизмами среды, превращают их в безвредные гумифицированные вещества, которые можно использовать для повышения плодородия почв. Учитывая, что до 40% воды в коммунально-бытовом хозяйстве используется в санузлах, данный метод приведет к существенной экономии воды. Другим примером может служить сбор и конденсация водяных паров воздуха (в районах с высокой влажностью воздуха, например побережье теплых морей), специальными сетками из гидрофобного материала, на которых конденсируются водяные пары и собираются в лоток для подачи воды населению.

В промышленности, примером перехода на безводные технологии может служить замена водяного охлаждения на воздушное. В качестве

другого примера можно рассмотреть замену гидротранспорта материалов - пневмотранспортом.

В животноводстве – переход от гидросмыва навоза к сухому (скребковому) способу его удаления.

В энергетике, использование нетрадиционных источников энергии (выработка электроэнергии с помощью солнечных батарей, ветроустановок, использование градиента температур литосферы и морей).

В орошаемом земледелии – переход на методы комплексного мелиоративного регулирования факторов жизни растений и формирования почвенного плодородия, на основе точных мелиораций. Это подразумевает:

- определение режима регулирования: почвенных влагозапасов; содержания в почве питательных веществ; положения уровня грунтовых вод - с учетом требований растений и почв;
- в каждый момент времени регулируется лимитирующий фактор;
- регулирование проводится с учетом пространственно-временной неоднородности почв на мезо и микроуровнях [4, 13, 19, 20].

Это позволит снизить объемы антропогенного воздействия (в силу действия закона «Эмерджентности»), получать высокие стабильные урожаи растений и поддерживать условия формирования почвенного плодородия, близкие к оптимальным. В свою очередь, все это приведет к снижению. «Углеродного следа».

#### **Внедрение прогрессивных систем водоснабжения**

В настоящее время широко используются оборотные, повторные и комбинированные системы водоснабжения. *Оборотные системы* позволяют потребителям воды многократно использовать свои сточные воды в технологическом процессе, с предварительной подготовкой или без нее, в зависимости от качества сточных вод. Данные системы можно создавать в промышленности, орошении и до некоторой степени в коммунально-бытовом хозяйстве. Эффективность данного метода заключается в сниже-

нии забора свежей воды из источника и опасности загрязнения водных объектов.

*Повторные системы* водоснабжения могут быть применены для технического водоснабжения промышленности сточными водами коммунально-бытового хозяйства, прошедшими очистку. Наибольшее применение повторное водоснабжение нашло при использовании сточных вод: КБХ, рекреации, животноводства и предприятий пищевой и мясоперерабатывающей промышленности (крахмальной, сахарной, гидролизной и т.д.) для орошения земель. При этом эффективность складывается из снижения объемов водопотребления свежей воды, утилизации сточных вод, повышения урожайности и плодородия почв [7, 22].

Учитывая, что чистой воды питьевого качества требуется мало (например, в ЖКХ для приготовления пищи и питья используется 3...5%) в районах с ее дефицитом (приморье, горные районы, южные мало обводненные территории) используются *дуплексные* (двойные) *системы* водоснабжения. Для питьевых целей такие системы подают чистую пресную воду, а для технических целей подается морская или слабоминерализованная подземная вода.

*Комбинированные системы* водоснабжения представляют собой сочетание различных систем водоснабжения, например : прямоточной и оборотной, повторной и оборотной и т.п., данные системы наиболее часто применяются.

#### **Устранение непроизводительных потерь воды**

При использовании воды часть ее теряется на испарение, фильтрацию и утечки или холостые сбросы. Все это приводит к снижению коэффициента полезного действия (КПД) систем водоснабжения. Поэтому в целях экономии воды необходимы мероприятия по повышению КПД систем. Эффективность данного метода основана на снижении объемов водопотребления и водоотведения. Для повышения КПД проводятся такие ме-

роприятия, как: ремонт водопроводной сети, проведение противофильтрационных мероприятий, устройство лесопосадок по берегам открытых водотоков и водоемов (для снижения испарения), оптимизация режима использования воды для снижения объемов холостых сбросов.

Эффективность экономии воды  $\mathcal{E}_{\text{кпд}}$  в данном методе определяется как отношение КПД до проведения мероприятий к КПД<sub>эк</sub> – после его повышения.

$$\mathcal{E}_{\text{кпд}} = \frac{1 - \text{КПД}}{\text{КПД}_{\text{эк}}} \quad (5.1)$$

Метод менее эффективен по сравнению с другими и требует больших экономических вложений, но относится к обязательным мероприятиям для каждого водопользователя.

#### Ограничение водопотребления и водопользования

Ограничение водопотребления проводится в случае дефицита воды и может проводиться вплоть до исключения участника из состава ВХК. Для целей городского коммунально-бытового хозяйства ограничение проводится в пределах диапазона изменения нормы водопотребления, соответствующей степени благоустройства. Например, для 3-ей степени благоустройства (наличие централизованной системы подачи холодной и горячей воды, централизованной системы отопления) норма водопотребления составляет 225...360 л/сут·чел. Если норма соответствовала 300 л/сут·чел, то в условиях нехватки воды норма может быть снижена до 225 л/сут·чел.

В промышленности водопотребление снижается таким образом, чтобы не произошло существенного снижения объемов вырабатываемой продукции (в пределах 10...20%).

В орошении снижение оросительной нормы возможно за счет увеличения доли менее влаголюбивых культур в составе севооборота, за счет оптимизации режима орошения и проведения комплексных мелиоратив-

ных мероприятий. Это позволяет снизить водопотребление на 30...60% и повысить урожайность в 2...4 раза.

В условиях необходимости ограничения применяются методы оптимизации имеющегося в наличии ресурса воды ( $R$ ) между потребителями. Критерием оптимизации является получение максимального чистого дохода (ЧД) от использования воды всеми  $i$ -ми потребителями [7, 18].

$$\text{ЧД} \rightarrow \max, \quad \text{ЧД} = \sum \text{ЧД}_i, \quad \text{ЧД}_i = D_i - Z_i \quad (5.2)$$

Оптимизируемый функционал (ЧД) выражается в зависимости от объемов потребляемой воды ( $w$ ):

$$\begin{aligned} \text{ЧД}_i &= \sum D_i - \sum Z_i \\ D_i &= f(w_i), \quad Z_i = \varphi(w_i) \\ \text{ЧД} &= \sum f(w_i) - \sum \varphi(w_i) \end{aligned}$$

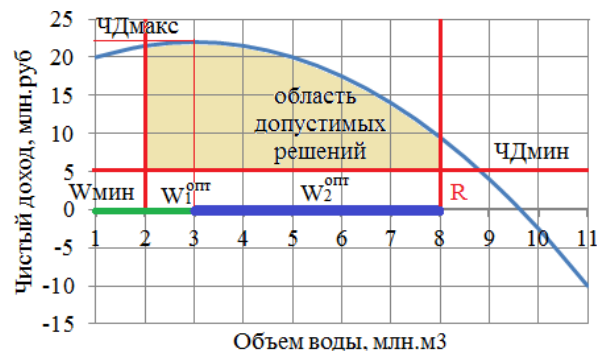
Все другие величины входящие в уравнение функционала должны быть постоянными. Система решается с учетом ограничений, которые могут быть: ресурсные, производственные, экономические, технологические и др.

$$R \geq \sum w_i - \text{ограничение на ресурс}$$

$$D_i = D_{\text{мин}} \dots D_{\text{макс}} - \text{технологические ограничения}$$

$$Z_i \leq Z_{\text{макс}} - \text{экономические ограничения}$$

где  $D$  – доход получаемый от использования воды,  $D_{\text{мин}}$  - минимальный доход по условию сохранения рентабельности производства;  $D_{\text{макс}}$  - максимальный доход, который ограничивается производственными мощностями;  $Z$  – затраты на производство продукции;  $Z_{\text{макс}}$  – максимальные затраты, определяемые Принципом разумной достаточности;  $w$  – объем воды выделяемый для производства продукции.



**Рисунок 5.1 – Пример выделения области допустимых решений функционала при оптимизации водораспределения между двумя водопотребителями**

## 6. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЮ

Оценка эффективности мероприятий по рациональному водопользованию проводится на основе мониторинга использования вод. Цель мониторинга - контроль рационального использования вод и проведения мероприятий по охране водных объектов от истощения, загрязнения и засорения. В задачи мониторинга входят:

- сбор сведений об объемах водопотребления и качестве потребляемой воды из водных объектов;
- сбор сведений об объемах водоотведения и качестве сбросных вод;
- анализ данных;
- оценка показателей рационального водопользования.

Данный вид мониторинга осуществляется самими водопотребителями (первичный учет) по формам первичной отчетной документации (ПОД), на основе которых заполняется форма статистического учета (2-ТП Водхоз), отправляемой в Статистическое управление.

Формы ПОД различаются: для учета объемов водопотребления и водоотведения (ПОД 11 и ПОД 12), для учета качества сточных вод (ПОД 13).

ПОД 11 - заполняется при определении потребляемых объемов воды прямыми методами (вертушками, поплавками, тарированными лотками или водосливами, индукционными расходомерами и т.п.).

ПОД 12 - заполняется в случае определения объемов водопотребления косвенными методами (по количеству потребляемой электроэнергии, производительности насосной станции, объему выпускаемой продукции и т.п.).

ПОД 13 - заполняется на основе данных полученных при проведении химического анализа образцов сточной воды.

Для анализа качества потребляемой и сточной воды на предприятии должен быть утвержденный органами Санэпиднадзора: график отбора проб; схема мест отбора сточных вод; список контролируемых загрязняющих воду веществ.

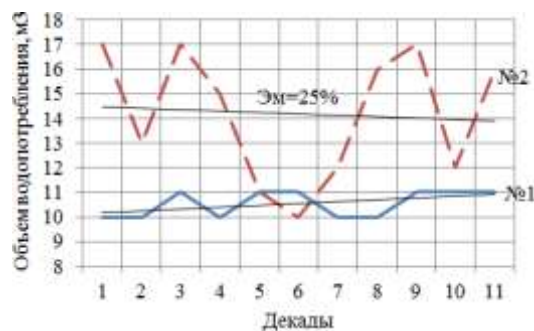
*Лаборатория проводящая химические анализы должна иметь сертификат государственной аттестации, при выдаче которого проверяется наличие стандартных методик проведения химических анализов, квалификация работников и соответствие оборудования и реактивов методике проведения анализов проб воды.*

Анализ эффективности мероприятий по рациональному водопользованию проводится с помощью анализа составляющих водного баланса предприятия, которое можно записать в виде:

$$W = P_{пр} + P_{ф} + P_{у} + P_{и} + P_{др} + W_{об} \pm W_{пов} + W_{вв} \quad (6.1)$$

где  $P_{пр}$  – объем воды вошедший в состав выпускаемой предприятием продукции;  $P_{ф}$ ,  $P_{у}$ ,  $P_{и}$  и  $P_{др}$  – соответственно, объемы потерь воды на фильтрацию, утечки, испарение и другие виды потерь;  $W_{об}$ ,  $W_{пов}$ ,  $W_{вв}$  - соответственно, объемы воды используемые в оборотной, повторной системах водоснабжения и сбрасываемые (возвратные воды) в водные объекты.

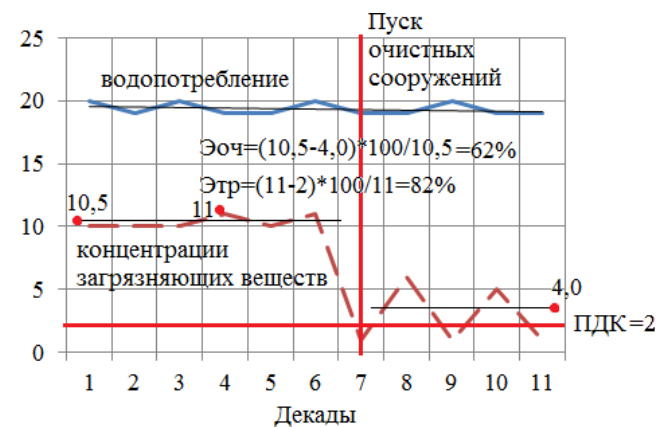
Анализ позволяет установить зависимости между отдельными количественными и качественными показателями водопотребления и водоотведения. Например, изменение объемов водопотребления (рис.6.1) и возвратных вод во времени должно снижаться при проведении мероприятий по экономии водных ресурсов.



**Рисунок 6.1 – Изменение объемов водопотребления в двух цехах промышленного предприятия, где**

№1 – водопотребление растет при постоянном объеме выпуска продукции значит есть дополнительные потери воды. Потери постоянные, о чем говорит малая вариация объемов. №2 – Мероприятия по снижению водопотребления проводятся. Годовая эффективность мероприятий  $\text{Эм}=25\%$ , но большой разброс говорит о разовых больших потерях воды, которые могут быть связаны с разной квалификацией работников

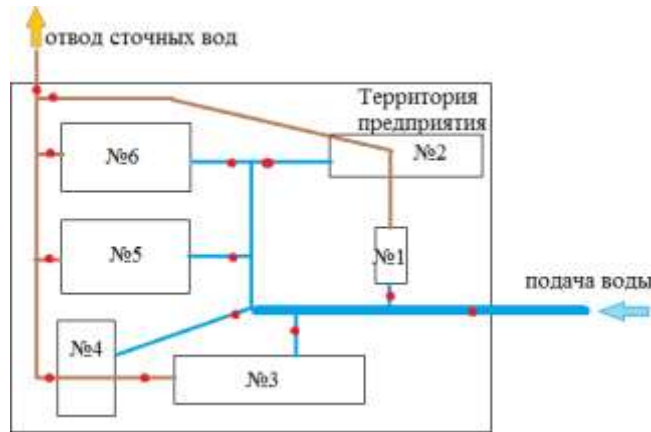
Объем сброса загрязняющих веществ в водные объекты, при проведении водоохранных мероприятий должно снижаться, в соответствии с планами пуска в строй очистных сооружений (рис. 6.2), реконструкцией систем водоснабжения, модернизации технологического процесса и т.п. Кроме того, можно получить зависимость объема выпускаемой продукции ( $V$ ) от объема водопотребления ( $W$ ) (т.е. проверка соответствия фактической нормы водопотребления ( $q_{\phi}$ ) проектной ( $q_{\text{пр}}$ ), должно быть  $q_{\phi} \leq q_{\text{пр}}$ ). При постоянной технологии и режиме работы предприятия, данная зависимость – линейная. Отклонение от линейной зависимости (снижение угла наклона) будет указывать на увеличение непроизводительных потерь воды [4, 7].



**Рисунок 6.2 – Изменение объемов водопотребления и концентрации загрязняющих веществ до и после пуска очистных сооружений**

Практически постоянные водопотребления говорят о выпуске одинаковых объемов продукции при неизменной технологии. Концентрации веществ до пуска очистных сооружений были практически стабильными, что также говорит о соблюдении технологии производства и не значительных потерях. После пуска очистных сооружений концентрации снизились, но не достаточно. Кроме того увеличился разброс веществ после очистки, что говорит о не эффективной работе сооружений.

Для контроля объемов и загрязненности сточных вод устанавливаются график отбора проб сточной воды назначается в зависимости от характера и режима сброса сточных вод. Места отбора проб выбираются с учетом доступности и источника образования стоков (рис. 6.3).

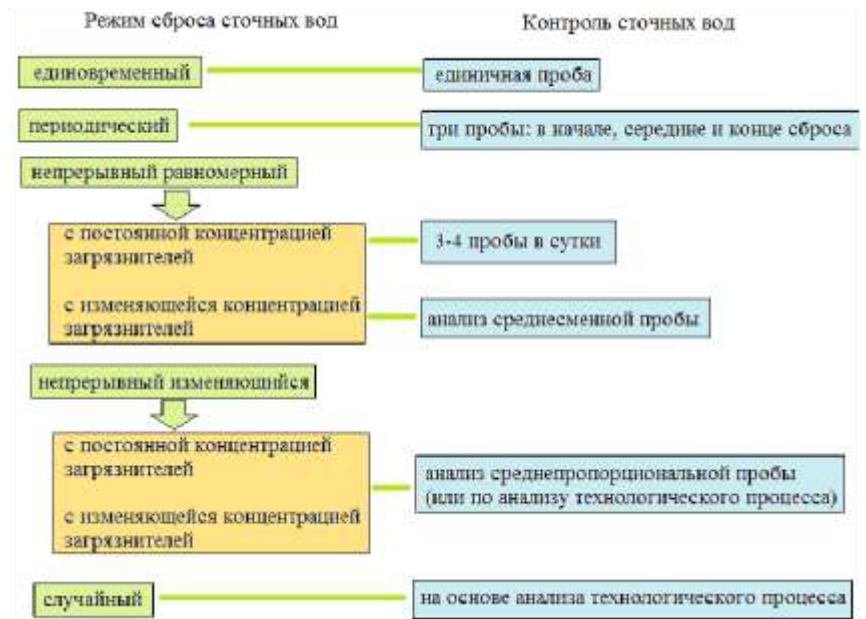


**Рисунок 6.3 – Схема расположения точек контроля объемов водопотребления (установки водомерных устройств), объемов и качества сточных вод (установки водомерных устройств и водоотбора)**

Режим сброса сточных вод бывает: единовременный; периодический; непрерывный; случайный (рис. 6.4). Каждый режим сброса характеризуется:

- единичной пробой (известен объем сброса и концентрация загрязняющего вещества, поэтому достаточно отбора одной пробы);
- определение средней концентрации и среднего объема сбросных вод по 3 пробам (например, период сброса 35 суток отбираются пробы воды, с одновременным определением расходов, через 10 дней);
- определение средней концентрации сбросных вод по 3-4 пробам;
- среднесменная проба определяется по 3-м пробам в смену, в которых определяются концентрации загрязняющих веществ;
- средняя пропорциональная проба позволяет определить средневзвешенную концентрацию загрязняющих веществ в сточных водах по их концентрациям ( $C_i$ ) и расходам сброса воды ( $Q_i$ ):

$$C_{\text{ср.взв.}} = \frac{\sum(C_i \cdot Q_i)}{\sum Q_i} \quad (6.2)$$



**Рисунок 6.4 – Контроль состояния сточных вод**

**Контроль рационального использования воды** ведется с помощью определения оценочных показателей:

- **технического совершенства систем водоснабжения**, характеризующее объем оборотного использования воды (в среднем по промышленности 70%, на отдельных предприятиях, например нефтехимической, металлургической промышленности может достигать 90-96%), определяется по выражению (рис. 6.5):

$$P_{\text{тех}} = \frac{W_{\text{об}}}{W_{\text{об}} + W_{\text{св}}} \cdot 100\%, \quad (6.3)$$

- **рациональности использования воды**, характеризующее замкнутость процесса использования воды:

$$P_{\text{рац}} = \frac{W_{\text{св}}}{W}, \quad W = W_{\text{св}} + W_{\text{об}} \quad (6.4)$$



- **коэффициента безвозвратного водопотребления**, для характеристики непроизводительных потерь воды:

$$P_{\text{б.п.}} = \frac{W_{\text{б.п.}}}{W_{\text{св}}}, \quad W_{\text{св}} = W_{\text{б.п.}} + W_{\text{потери}} \quad (6.5)$$

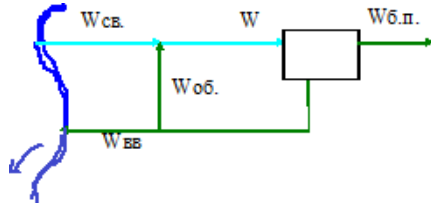


Рисунок 6.5 – Схема для определения показателей использования воды

## 7. ОБОСНОВАНИЕ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

- Оценка загрязненности сточных вод и качества воды водных объектов.
- Оценка вклада источников в загрязнение водных объектов..
- Формирование набора водоохранных мероприятий, позволяющих достичь требуемого качества воды в водном объекте.

Обоснование водоохранных мероприятий проводится по схеме (рис. 7.1), которая включает следующие блоки.

Блок сбора исходных данных. Требуется данные об объемах стока реки ( $W_p$ ), объемах водопотребления ( $W$ ) и возвратных вод от сосредоточенных источников ( $W_{\text{вв}}$ ). Определяются объемы веществ, сбрасываемых в водный объект от всех источников, природных ( $G_{\text{пр}}$ ) и антропогенных ( $G_{\text{ан}}$ ), концентрации веществ в водном объекте ( $C_p$ ). Собранные данные используются для оценки качества воды с помощью комплексного показателя ( $K_{\text{пз}}$ ) [4, 7, 10].

$$K_{\text{пз}} = \frac{\Sigma G_{\text{пр}} + \Sigma G_{\text{ан}} + \Sigma W_{\text{вв}} \cdot \text{ПДК}}{W_p - W + W_{\text{вв}}} \quad (7.1)$$

где  $G$  – объемы веществ определяются как произведение объемов сточных вод ( $W_{\text{ст}}$ ) с диффузных источников на концентрацию веществ ( $C$ ), выраженную в виде кратности  $n \cdot \text{ПДК}$  ( $G = C \cdot W_{\text{ст}}$ ,  $C = n \cdot \text{ПДК}$ ).

Полученный показатель сравнивается с целевым ( $K_{\text{пз.цп}}$ ), который назначается в соответствии с целевым качеством воды, которое принимается на уровне «умеренно загрязненного» класса. Данный класс соответствует качеству воды в природных условиях. В этом случае  $K_{\text{пз.цп}} = 1$ . В случае превышения целевого показателя рассматриваются водоохранные мероприятия. Все объемы загрязнений (антропогенных) разделяются по источникам загрязнений: сосредоточенными ( $\Sigma G_{\text{сос}}$ ) и диффузными ( $\Sigma G_{\text{диф}}$ ) [4, 7].

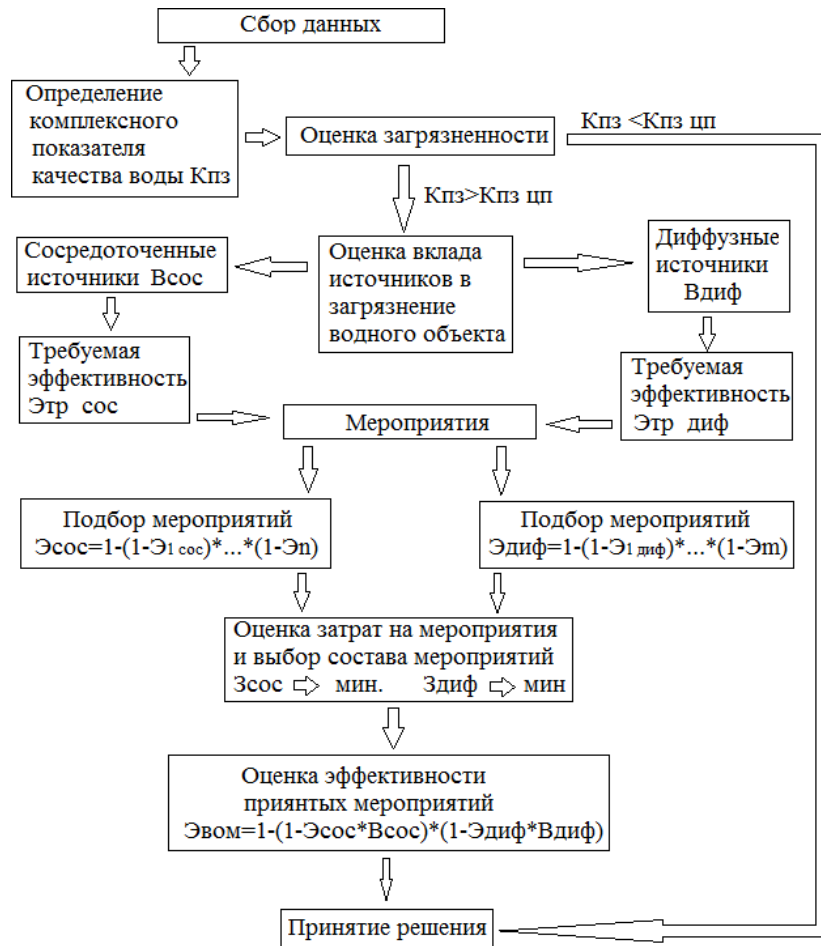


Рисунок 7.1 – Схема обоснования водоохранных мероприятий

Определяется вклад источников в загрязнение водного объекта:

$$B_{\text{сос}} = \frac{\Sigma G_{\text{сос}}}{\Sigma G_{\text{сос}} + \Sigma G_{\text{диф}}}; B_{\text{диф}} = \frac{\Sigma G_{\text{диф}}}{\Sigma G_{\text{сос}} + \Sigma G_{\text{диф}}} \quad (7.2)$$

В следующем блоке делается оценка требуемой эффективности водоохранных мероприятий:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{тр.сос}} &= \frac{K_{\text{пз.сос}} - K_{\text{пз.шп}}}{K_{\text{пз.сос}}}; \mathcal{E}_{\text{тр.диф}} \\ &= \frac{K_{\text{пз.диф}} - K_{\text{пз.шп}}}{K_{\text{пз.диф}}} \end{aligned} \quad (7.3)$$

$$\begin{aligned} K_{\text{пз.сос}} &= \frac{\Sigma G_{\text{сос}} + \Sigma W_{\text{вв}}}{W_p}; K_{\text{пз.диф}} \\ &= \frac{\Sigma G_{\text{диф}} + \Sigma W_{\text{вв}}}{W_p} \end{aligned} \quad (7.4)$$

В блоке «Мероприятия» выбираются, подходящие для конкретных условий и источникам загрязнений, водоохранные мероприятия и их эффективности ( $\mathcal{E}_{\text{в}}$ ). Набор мероприятий должен иметь общую эффективность не меньше требуемой, с учетом вклада источников загрязнений:  $\mathcal{E}_{\text{вом}} \geq \mathcal{E}_{\text{тр}}$ .

Таким образом проводится экологическое обоснование водоохранных мероприятий. Однако, выполнению экологического условия соответствуют несколько наборов водоохранных мероприятий ( $N$ ). Из них выбирается тот набор, который соответствует минимуму затрат на реализацию мероприятий. В этом случае проводится экономическое обоснование водоохранных мероприятий [2, 4, 12, 16].

## 8. НОРМАТИВЫ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

- Нормативы допустимого воздействия на водные объекты.
- Норматив допустимого изъятия воды.
- Нормативы допустимого сброса загрязненных сточных вод.

Антропогенная деятельность приводит к истощению и загрязнению водных объектов. Все виды воздействия должны нормироваться и не превышать допустимые пределы (в соответствии с Правилем меры преобразования). Учитывая, что истощающие и загрязняющие воздействия оказывают негативное воздействие на конкретный водный объект, то в соответствии с законом «Эмерджентности» следует учесть не только их отдельное влияние, но и совместное действие. С этой целью должны определяться нормативы допустимого воздействия (НДВ). **Нормативы допустимого воздействия на водные объекты (НДВ) - устанавливают безопасные уровни содержания загрязняющих веществ, а также других показателей, характеризующих воздействие на водные объекты, с учетом природно-климатических особенностей водных объектов данного региона и сложившейся в результате хозяйственной деятельности природно-техногенной обстановки.** НДВ определяются в соответствии с Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты: утверждены приказом МПР России от 12 декабря 2007 года № 328.

Нормативы допустимого воздействия на водные объекты разрабатываются в целях поддержания поверхностных и подземных вод в состоянии:

- обеспечения устойчивого функционирования естественных или сложившихся экологических систем,
- сохранения биологического разнообразия и предотвращения негативного воздействия в результате хозяйственной и иной деятельности;
- сохранения или улучшения состояния экологической системы в пределах водных объектов или их участков;
- ведения к минимуму последствий антропогенных воздействий, создающих риск возникновения необратимых

негативных изменений в экологической системе водного объекта;

- обеспечения устойчивого и безопасного водопользования в процессе социально-экономического развития территории.

Расчет нормативов допустимого воздействия на водные объекты по нормируемым видам воздействия проводится по следующей схеме.

- 1) Производится выделение водохозяйственных участков, в соответствии с **Методикой водохозяйственного районирования территории Рос- сийской Федерации: утверждена МПР России 25.04.2007 №111.**
- 2) Сбор данных о водном объекте и его водосборной площади в пределах расчетного участка, видах хозяйственной деятельности, оказывающих влияние на водный объект, определение видов воздействия, подлежащих нормированию.
- 3) Ретроспективный анализ результатов существующего мониторинга по гидробиологическим, гидрохимическим и др. показателям. Определение диапазона региональных абиотических показателей водных объектов, с учетом и без учета антропогенной деятельности. При отсутствии мониторинга по гидробиологическим характеристикам указанные фоновые показатели принимаются по участкам с наименьшей антропогенной нагрузкой или могут быть организованы специальные натурные исследования для уточнения показателей качества воды и состояния экологических систем.
- 4) Анализ результатов мониторинга с целью определения перечня веществ, подлежащих учету в составе нормативов допустимого воздействия на водные объекты, путем сравнения с предельно допустимыми концентрациями химических и иных веществ для приоритетных видов использования водных объектов и/или региональных фоновых показателей (для веществ двойного генезиса).

- 5) Оценка фактического экологического состояния водного объекта на расчетных участках относительно региональных фоновых показателей и предельно допустимых концентраций химических и иных веществ
- 6) Оценка лимитирующих гидрологических характеристик для различных условий водности, установление экологического расхода.
- 7) Определение нормативов предельно допустимых концентраций химических веществ гарантирующих стабильность экологической системы водного объекта с заданной обеспеченностью и/или удовлетворения требований приоритетных видов использования воды.
- 8) Расчет нормативов допустимого воздействия на водные объекты для отдельных видов воздействия в соответствии с принятыми нормативами качества воды водного объекта за характерные временные периоды (год, отдельные сезоны и т.д.).

В настоящее время допустимое влияние определяется для отдельных видов воздействия, без учета их совместного действия.

### 8.1 Нормативы допустимого изъятия воды

Истощение происходит в случае, если из объема естественного стока реки ( $W_p$ ) осуществления водозабора ( $W$ ) сверх экологически допустимого объема ( $W_{эк}$ ).

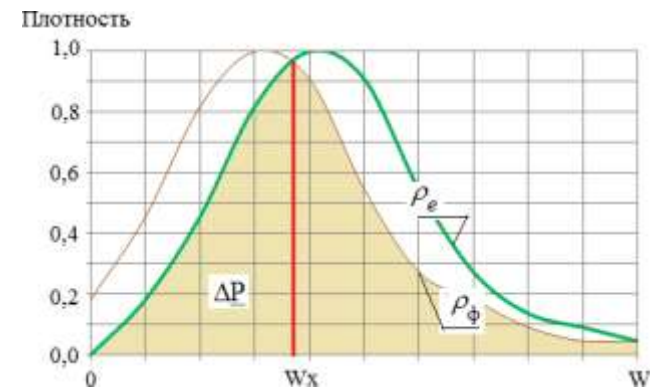
$$W_p - W \geq W_{эк} - \text{река не истощается,}$$

$$W_p - W < W_{эк} - \text{река истощена}$$

В данном случае нормативом допустимого истощения является объем экологического стока. **Экологический сток - это часть естественного стока рек, которая обеспечивает сохранение устойчивости водной экосистеме.** Предлагаемый метод его определения использует функции распределения объемов речного стока. Функция распределения является универсальной характеристикой системы, которая полностью отражает ее состояние по рассматриваемому фактору, в данном случае объему стока.

Объем стока реки представляет объем жизненного пространства водной биоты. Поэтому функция распределения объемов стока отражает экологическое состояние конкретного водного объекта, находящегося в определенных, в том числе антропогенных, условиях. Сравнение кривых распределения построенных с учетом и без учета антропогенного воздействия используется для оценки состояния системы. Площадь пересечения данных кривых ( $\Delta P$ ), построенных для естественных условий ( $\rho_e$ ) и условий, учитывающих антропогенное воздействие (фактические условия) ( $\rho_\phi$ ) хорошо характеризует такие изменения. Величина  $\Delta P$  представляет собой степень сохранности естественного стока (рис. 8.1).

$$\Delta P = \int_{W_{эк}}^W \rho_e dW + \int_{W_{эк}}^W \rho_\phi dW \tag{8.1}$$



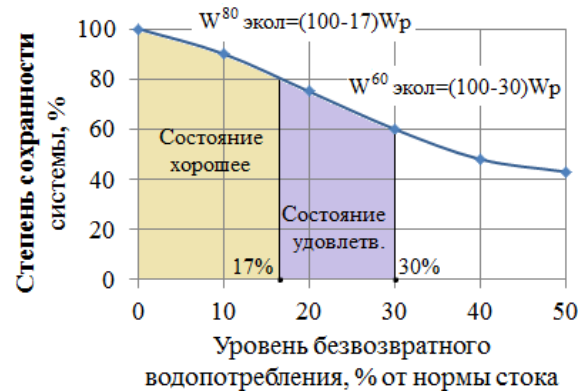
**Рисунок 8.1 - Схема определения степени изменения состояния экосистемы ( $\Delta P$ ), путем сравнения кривых распределения фактора среды ( $W$ ), для условий учитывающих негативное воздействие ( $\rho_\phi$ ) и естественных условий ( $\rho_e$ )**

Процедура определения годовых объемов экологического стока сводится к следующему. По исходным данным строится плотность распределения объемов естественного стока и стока, учитывающего безвозвратное

водопотребление на j-ом уровне изъятия воды (например:  $W_{\text{в}}=10, 20, 30, 40$  и 50% от нормы стока) (рис. 8.1).

Определяются площади перекрытия кривых естественного и фактического стока ( $\Delta P_j$ ) для j-го уровня изъятия воды. Физический смысл данных площадей – вероятность сохранности естественного состояния системы. В соответствии с классификацией состояния систем (табл. 8.1) выбирается приемлемый уровень (не менее  $\Delta P_{\text{доп}}=60\%$ ).

Строится зависимость  $\Delta P_{\text{в}} = f(W_{\text{в}})$ , по которой для  $\Delta P_{\text{доп}}$  определяется величина экологически допустимого стока (рис. 8.2).



**Рисунок 8.2 – Зависимость степени сохранности водной экосистемы ( $\Delta P$ ) от уровня безвозвратного водопотребления**

Таблица 8.1 – Классификация состояний экосистемы по показателю степени сохранности системы  $\Delta P$ , %

Катастрофическое	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Хорошее
< 40	40-60	60-80	80-100

Данный метод применим для любого водного объекта и позволяет:

- учесть истощающее воздействие на водный объект, связанное с изъятием и регулированием стока;
- требуемое экологическое состояние задается в качестве целевого;

- метод использует данные только об объеме стока, что позволяет строить кривые распределения даже при отсутствии данных гидрологических наблюдений (неизученных водных объектов).

### 8.2 Нормативы предельно допустимого сброса загрязняющих веществ в водный объект

**Предельно допустимый сброс (ПДС) - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в установленном режиме в данном пункте в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.** Норматив ПДС предназначен:

- ❖ для поддержания водных объектов, в которые осуществляется сброс загрязнений, в состоянии, соответствующем экологическим требованиям,
- ❖ контроля соблюдения условий водоотведения
- ❖ расчетов штрафных платежей.

Норматив ПДС обосновывается для каждого загрязняющего вещества, по каждому выпуску сточных вод.

Величина ПДС определяется по формуле:

$$ПДС_{\text{в}} = q_{\text{лим}} \cdot C_{\text{доп.в}}, \text{ г/ч} \quad (8.2)$$

где  $q_{\text{лим}}$  – максимальный часовой расход лимита сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{\text{доп.в}}$  – допустимая для водоотведения концентрация i-го загрязняющего вещества, мг/л.

Допустимая концентрация – это концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, не приводящая к превышению нормативов качества в контрольном створе водного объекта. Она должна отвечать условию, которое позволяет учитывать совместное действие загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\text{доп.}i}}{\text{ПДК}_i} \leq 1 \quad (8.3)$$

где  $n$  – количество загрязняющих веществ, входящих:

- в одну группу ЛПВ (лимитирующего признака вредности) – для водных объектов рыбохозяйственного водопользования. Для таких водных объектов выделяют пять групп ЛПВ: органолептическая, обще санитарная, санитарно-токсикологическая, токсикологическая и рыбохозяйственная. Рыбохозяйственного назначения считаются водные объекты, которые используются для воспроизводства, промысла и миграции рыб, беспозвоночных и водных млекопитающих. Они в свою очередь подразделяются на три категории:
  - высшая категория – водные объекты, в которых расположены нерестилища, места массового нагула и зимовки особо ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охранные зоны хозяйств любого типа для искусственного разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений;
  - первая категория - водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства промысловых видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;
  - вторая категория - водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.
- в одну группу ЛПВ и относящихся к 1 или 2 классам опасности – для водных объектов хозяйственно питьевого и культурно-бытового водопользования. В этом случае все вещества относят к трем группам ЛПВ: органолептическая, обще санитарная, токсикологическая. К коммунально-бытовому водопользованию относятся водные объекты, которые используются для купания, спорта и отдыха населения, а также других целей, если водные объекты расположены в черте населенных пунктов.

Учет процессов естественного самоочищения вод от поступающих в них веществ допускается в случае, если они ярко выражены, закономерности их изучены и в продуктах распада отсутствуют токсичные вещества

**Методических указаний по применению правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами:** утверждены Минводхоз СССР 13-2-05/625. Актуализированы 01.01.2011 г.

**II. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**9. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

Практическая работа по курсу «Рациональное водопользование» предусматривает выполнение следующих заданий:

- заданий по лекционному курсу;
- расчетно-графической работы.

**9.1. ЗАДАНИЯ ПО ЛЕКЦИОННОМУ КУРСУ**

**9.1.1. Оценка эффективности введения водооборотной системы водоснабжения в орошении**

**Цель работы:**

- а) Определить объем экономии свежей воды и площадь орошения дренажным стоком с осушаемой территории при разных значениях коэффициента водооборота;
- б) Оценить снижение загрязненности речного стока в зависимости от коэффициента водооборота.

Таблица 9.1 – Исходные данные задаются по вариантам

Параметры	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Модуль дренажного стока, л/(с·км <sup>2</sup> )	1,19	1,71	0,55	1,05	0,96	0,54	1,17	0,62	1,13
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	2260	2830	2480	910	2830	2680	1200	1350	1690
КПД оросительной системы	0,78	0,73	0,83	0,87	0,93	0,68	0,69	0,78	0,7
Потери воды из пруда накопителя, %	12	14	8	9	13	11	12	11	8

Параметры	Вариант								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Модуль дренажного стока, л/(с·км <sup>2</sup> )	1,38	0,92	0,99	1,7	0,62	0,83	1,51	0,55	0,7
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	1050	1680	2230	2860	2110	2640	2320	1110	1750
КПД оросительной системы	0,78	0,75	0,84	0,74	0,76	0,74	0,83	0,81	0,75
Потери воды из пруда накопителя, %	13	13	5	10	9	8	12	10	7



**Рисунок 9.1 – Расчетная схема**

**Решение.** Задаваясь значениями коэффициента водооборота ( $K_{об}$ ) в диапазоне 0...1 определяются значения объемов дренажного стока, которые используются для орошения  $W_{др}$ . Объем свежей воды для орошения (подпитка из реки  $W_{св}$ ) составит:

$$W_{св} = W_{ор} - W_{др} \cdot K_{об} \tag{9.1}$$

Одновременно определяется сток воды в реке (фактический сток  $W_{ф}$ ) из уравнения баланса:

$$W_{ф} = W_{р} + W_{вв\ or} - W_{др} - W_{св} \tag{9.2}$$

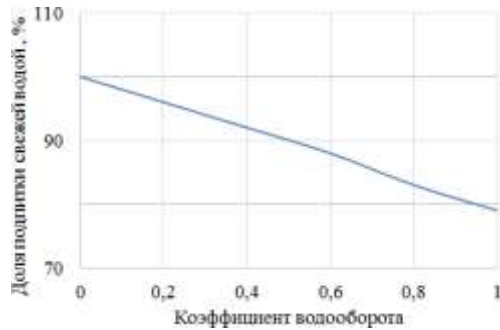
где  $W_{р}$  – естественный сток реки;  $W_{вв\ or}$  – объем возвратных вод с орошения.

Качество воды оценивается по кратности превышения ПДК (в виде показателя  $K_{пз}$ ):

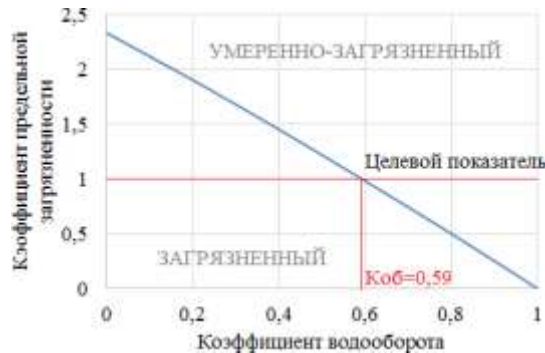
$$K_{пз} = \frac{G_{ор} + G_{ос} + G_{р}}{W_{ф}} \tag{9.3}$$

Строятся графики зависимости  $W_{св} = f(K_{об})$  и  $K_{пз} = f(K_{об})$  (рис. 9.2, 9.3). Делаются выводы:

- эффективность экономии воды при изменении коэффициента водооборота;
- эффективность улучшения качества воды при введении водооборота.

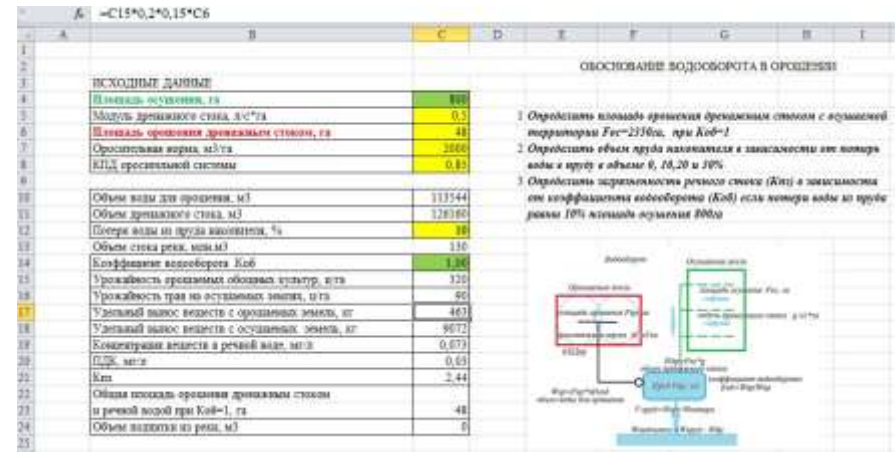


**Рисунок 9.2** – Изменение объемов забираемой свежей воды для орошения в зависимости от коэффициента водооборота (увеличение коэффициента водооборота на 20% забор свежей воды снижается на 4%)



**Рисунок 9.3** – Изменение качества воды в зависимости от коэффициента водооборота (целевой показатель качества воды достигается при коэффициенте водооборота 0,59)

Работа выполняется с помощью программы в среде EXCEL (рис.9.4).



**Рисунок 9.4** – Интерфейс программы прогнозирования эффективности водооборотной системы в орошаемом земледелии (ячейки выделенные желтым цветом используются для ввода исходных данных. Зеленые ячейки нужны для расчета вариантов с разным коэффициентом водооборота)

**9.1.2 Оценка эффективности введения повторной системы водоснабжения орошения сточными водами животноводства**

**Цель работы:**

- а) определить эффективность повторной системы водоснабжения по снижению потребности в свежей воде;
- с) Определить улучшение качества воды при использовании повторного водоснабжения.

Таблица 9.2 – Исходные данные задаются по вариантам

Параметры	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коэффициент возвратных вод	0,53	0,61	0,53	0,55	0,53	0,55	0,54	0,6	0,5
Коэффициент разбавления	1,31	1,47	1,68	1,6	1,81	1,52	1,83	1,56	1,62
Оросительная норма, м³/га	1790	2010	2510	1060	1070	950	1880	2730	2920
КПД	0,39	0,26	0,99	0,25	0,08	0,28	0,54	0,26	0,9
Норма водопотребления одной головой скота, л/сут*гол	80	87	98	99	102	107	82	109	83
Потери воды из пруда, %	14	6	13	13	8	5	7	13	8



Продолжение таблицы 9.2.

Параметры	Вариант								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Коэффициент возвратных вод	0,48	0,49	0,49	0,57	0,58	0,4	0,48	0,51	0,55
Коэффициент разбавления	1,86	1,56	1,97	1,46	1,89	1,46	1,82	1,93	1,50
Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	1460	2360	1960	2410	2810	2100	1560	1050	1800
КПД	0,25	0,01	0,25	0,26	0,97	0,95	0,37	0,25	0,30
Норма водопотребления одной головой скота, л/сут-гол	69	75	67	96	76	83	106	66	90
Потери воды из пруда, %	14	11	13	5	13	9	7	13	10

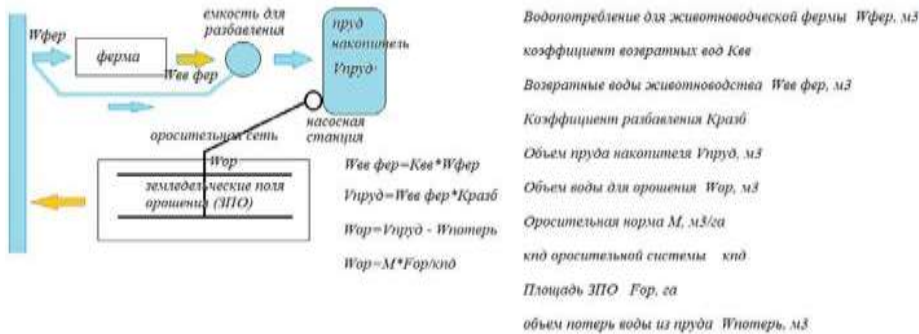


Рисунок 9.5 Расчетная схема

**Решение.** Задавая значениями коэффициента повторного использования воды ( $K_{пив}$ ) в диапазоне 0...1 определяются значения объемов возвратных вод животноводства, которые используются для орошения  $W_{вв ор}$ . Объем свежей воды для орошения (подпитка из реки  $W_{св}$ ) составит:

$$W_{св} = W_{ор} - W_{вв ор} \cdot K_{пив} \quad (9.4)$$

Одновременно определяется сток воды в реке (фактический сток  $W_{ф}$ ) из уравнения баланса:

$$W_{ф} = W_{р} + W_{вв ж} \cdot (1 - K_{пив}) + W_{вв ор} - W_{ор} \cdot (1 - K_{пив}) - W_{ж} \quad (9.5)$$

где  $W_{р}$  – естественный сток реки;  $W_{вв ор}$ ,  $W_{вв ж}$  – соответственно, объем возвратных вод с орошения и животноводства.

Качество воды оценивается как кратность превышения ПДК (в виде показателя  $K_{пз}$ ):

$$K_{пз} = \frac{G_{ор} + G_{ж} + G_{р}}{W_{ф}} \quad (9.6)$$

Строятся графики зависимости  $W_{св} = f(K_{пив})$  и  $K_{пз} = f(K_{пив})$  (рисунки 9.6, 9.7). Делаются выводы:

- эффективность экономии воды при изменении коэффициента повторного использования воды;
- эффективность улучшения качества воды в зависимости от коэффициента повторного использования воды.

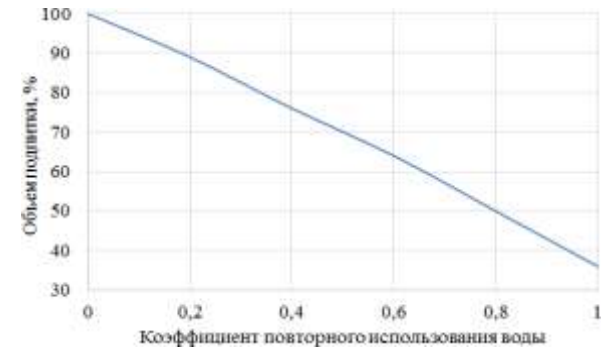


Рисунок 9.6 – Зависимость изменения объемов потребляемой свежей воды от коэффициента повторного использования (увеличение коэффициента  $K_{пив}$  на 20% забор свежей воды снижается на 10%)

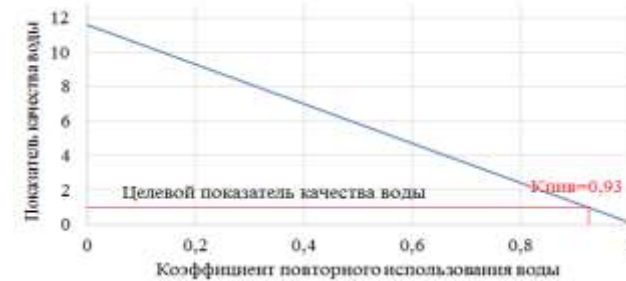
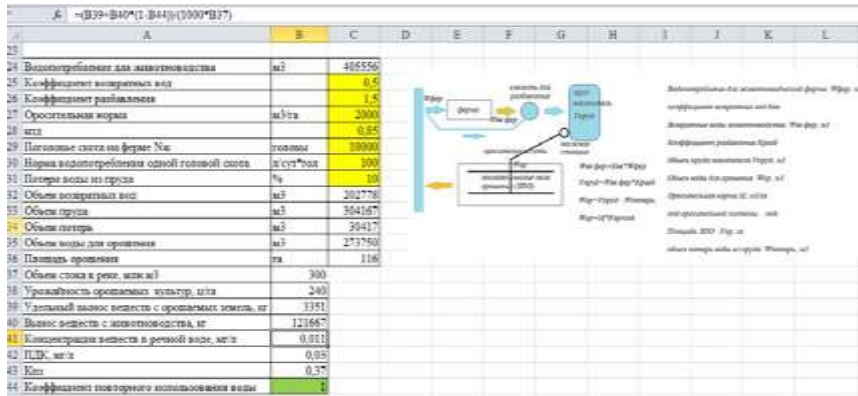


Рисунок 9.7 – Улучшение качества воды в зависимости от коэффициента повторного использования воды (целевой показатель качества воды достигается при коэффициенте повторного использования воды 0,93)

Работа выполняется с помощью программы в среде EXCEL (рис. 9.8).



**Рисунок 9.8 – Интерфейс программы прогностической оценки эффективности повторной системы водоснабжения орошения сточными водами животноводства (ячейки выделенные желтым цветом используют для ввода исходных данных. Зеленая ячейка нужна для расчета вариантов с разным коэффициентом повторного водоснабжения)**

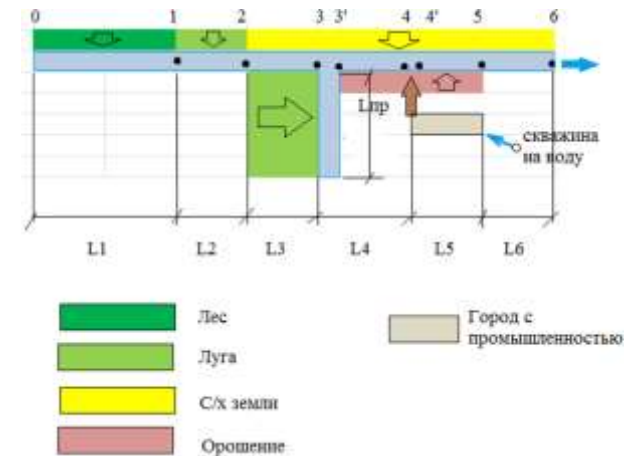
**9.1.3 Оценка допустимого воздействия на реку**

**Цель работы:** Определение объемов экологически допустимого водозабора и допустимого сброса загрязняющих веществ.

Таблица 9.3 – Исходные данные по вариантам

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Площадь бассейна реки, км <sup>2</sup>	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250
Длина реки, км	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
Длина притока, км	29	31	32	34	36	38	40	41	43	45	47	49	50	52	54	56	58	59
Площадь лесов, %	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Площадь лугов, %	45	41,8	38,6	35,4	32,2	29	25,8	22,6	19,4	16,2	13	10,9	8,8	6,7	4,6	2,5	9,4	6,3
Площадь с/х земель, %	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	51	52	53	54	45	47	49
Удельный вынос фосфора с с/х земель, кг/га	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4
Удельный вынос фосфора с лугов, кг/га	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Удельный вынос фосфора с лесов, кг/га	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
Удельный вынос фосфора с орошения, кг/га	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Длина расчетных участков:																		
L1, %	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
L2, %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
L3, %	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
L4, %	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
L5, %	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
L6, %	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Концентрация в стоках города, мг/л	0,5	0,505	0,51	0,515	0,52	0,525	0,53	0,535	0,54	0,545	0,55	0,555	0,56	0,565	0,57	0,575	0,58	0,585
Площадь орошения от площади с/х земель, %	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6	6,8	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7
Сток реки, млн.м <sup>3</sup>	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540
Водопотребление городом	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6	6,8	7	7,2	7,4	7,6	7,8	8	8,2	8,4
Водозабор для орошения, млн.м <sup>3</sup>	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81



**Рисунок 9.9 – Расчетная схема**

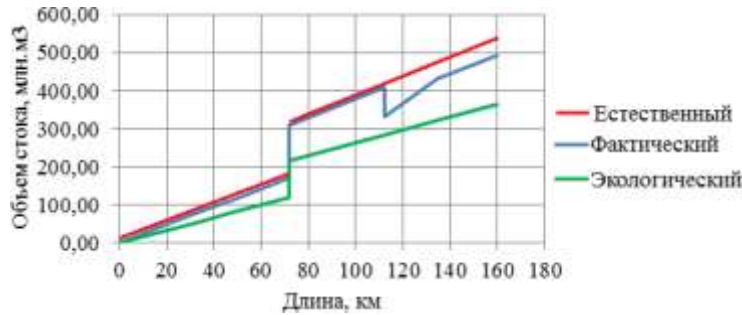
**Расчеты.** Определяется изменение объемов стока по длине реки с помощью балансовой формулы:

$$W_{ф\bar{n}} = W_{p\bar{n}\bar{a}} + W_{p\bar{n}} + W_{вв\bar{n}} - W_{\bar{n}} \tag{9.7}$$

$$W_{p\bar{n}} = \frac{L_{\bar{n}} \cdot W_p}{\sum L_{\bar{n}} + L_{пр}} \tag{9.8}$$

Строится график. Фактический сток должен находится не ниже экологического стока ( $W_{эк}$ ), который определяется в зависимости от естественного стока реки ( $W_p$ )

$$W_{\text{эк}} = K_{\text{эк}} \cdot W_p \quad (9.9)$$



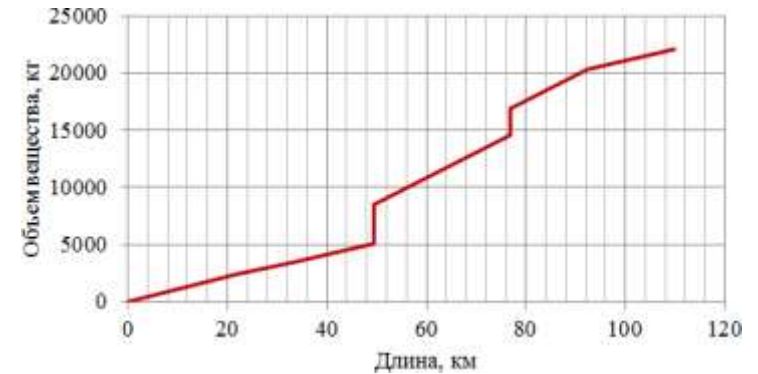
**Рисунок 9.10 - Изменение объемов естественного, фактического и экологического стока по длине реки (фактический сто находится в пределах между естественным и экологическим стоком, что говорит о допустимом воздействии. Можно увеличить водозабор доведя фактический сток до экологического. В этом случае допустимый водозабор составит 110 млн.м³)**

Определяется изменение объемов загрязняющего вещества по длине реки с помощью формулы:

$$G_{p_{\square}} = G_{p_{\square_{\text{пред}}}} + G_{p_{\square}} + G_{\text{вв}_{\square}} - G_{\text{из}_{\square}} \quad (9.10)$$

$$G_{p_{\square}} = \frac{L_{\square} \cdot G_p}{\Sigma L_{\square} + L_{\text{пр}}} \quad (9.11)$$

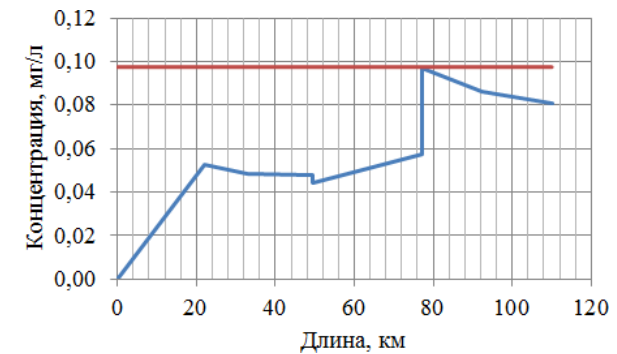
где  $G_{p_{\square}}$ ,  $G_{p_{\square_{\text{пред}}}}$  – соответственно, объем вещества в реке в расчетном створе и предыдущем;  $G_{\text{вв}_{\square}}$  – объем вещества сбрасываемый со сточными водами;  $G_{\text{из}_{\square}}$  – объем вещества изымаемый из реки при водозаборе.



**Рисунок 9.11 - Изменение допустимых объемов фосфора по длине реки без учета водоохранных мероприятий (допустимый для сброса в реку объем фосфора равен 22080 кг/год)**

Определяется концентрация вещества в реке по формуле:

$$C_{p_{\square}} = \frac{G_p}{W_{\square}} \quad (9.12)$$



**Рисунок 9.12 Изменение концентрации вещества по длине реки без учета водоохранных мероприятий (для оценки допустимого сброса вещества в реку надо чтобы максимальна концентрация была равна целевому уровню)**

Если концентрация превышает нормативную концентрацию (ПДК) делается вывод о необходимости водоохранных мероприятий (ВОМ) с эффективностью:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{C_{\text{макс}} - \text{ПДК}}{C_{\text{макс}}} \cdot 100\%. \quad (9.13)$$

Из предлагаемого набора применяются водоохранные мероприятия (которые учитываются через их эффективность ( $\mathcal{E}_{\text{в}}$ ) с целью довести  $C_{\text{макс}}$  до ПДК.

Работа выполняется с использование программы в среде EXCEL (рис.9.13).

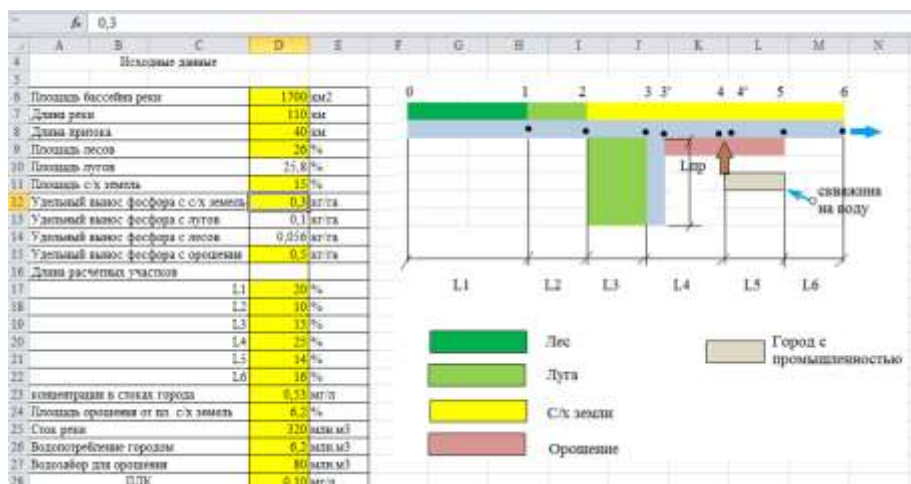


Рисунок 9.13 – Интерфейс листа программы расчета ввода исходных данных (ячейки выделенные желтым цветом используются для ввода исходных данных и задания разных вариантов условий)

### 9.1.4 Оптимизация водораспределения между потребителями в условиях дефицита водных ресурсов

**Цель работы** – определить оптимальные объемы водопотребления для промышленности и орошения.

Решение задачи оптимизационным методом осуществляется на основе постановки задачи. Постановка задачи оптимизации подразумевает: определение оптимизируемой целевой функции (функционала); выбора критерия оптимизации и постановка ограничений.

**Оптимизация** – процесс выбора наилучшего варианта управления системой из возможных, при заданных требованиях и ограничениях. Требования задаются в виде критерия оптимизации, который позволяет выбрать наилучший вариант решения целевой функции.

**Критерий оптимизации** – это математический эквивалент цели операции, позволяющий количественно оценить степень достижения цели.

**Целевая функция** – вещественная или целочисленная функция нескольких переменных, подлежащая оптимизации в целях определения наилучшего значения оптимизируемого параметра с помощью некоторого критерия.

**Ограничения** – это накладывание пределов возможных изменений параметров, входящих в целевую функцию и значений самой целевой функции.

Задачи решаемые с помощью оптимизации:

- Задача распределения: ее особенность заключается в выполнении ряда работ, которые необходимо выполнить при определенных ограничениях ( в работе – оптимизация распределения резерва воды между промышленным предприятием и орошением).
- Задачи построения оптимальных стратегий (деловые игры): заключается в использовании имитационной модели, для ускорения, наглядности и возможности исследования поведения системы при разных управляющих воздействиях (в работе – анализ изменения оптимального решения в зависимости от параметров водопотребителей).

#### Решение задачи

Оптимизация водораспределения резерва воды ( $W_{\text{резерв}}$ ) между промышленностью и орошением.

Критерий оптимизации – максимум суммарного дохода:  $\text{ЧД}(W) \rightarrow \text{макс.}$

Целевая функция:

$$\text{ЧД}(W) = \text{ЧД}_{\text{ор}}(W) + \text{ЧД}_{\text{пр}}(W) - \text{З}_{\text{ор}}(W) - \text{З}_{\text{пр}}(W) \quad (9.14)$$

Ограничение:  $W \leq W_{\text{резерв}}$

Таблица 9.4 – Исходные данные

Промышленность			Орошение				Резерв воды W, млн.м <sup>3</sup>
b, т/м <sup>3</sup>	$\eta_{\text{пр}}$	C <sub>п</sub> , руб/т	U <sub>макс</sub> , ц/га	C <sub>ор</sub> , руб/ц	$\eta_{\text{ор}}$	M, м <sup>3</sup> /га	
535	0,87	10825	47	6986	0,85	2500	287

b – удельный объем водопотребления в промышленности;

$\eta_{\text{пр}}$  – коэффициент полезного действия системы водоснабжения в промышленности;

C<sub>п</sub> – стоимость единицы промышленной продукции;

U<sub>макс</sub> – максимальная урожайность сельскохозяйственной культуры;

C<sub>ор</sub> – стоимость единицы сельскохозяйственной продукции;

$\eta_{\text{ор}}$  – коэффициент полезного действия системы водоснабжения в орошении;

M – оросительная норма, м<sup>3</sup>/га.

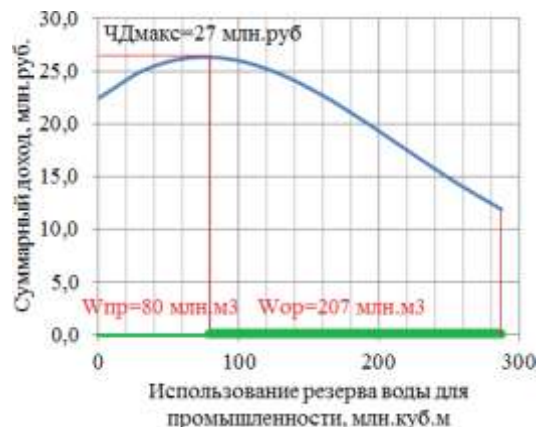


Рисунок 9.14 – Производственная функция ВХК

Оптимальные объемы воды, млн.м<sup>3</sup>

Объем воды для промышленности	80
Объем воды для орошения	207

Задача решается с помощью расчетной программы, которая позволяет в имитационном режиме провести определенные исследования по оценке влияния различных факторов на результаты оптимизации водораспределения.

1. Изменение результатов оптимизации в зависимости от оросительной нормы.

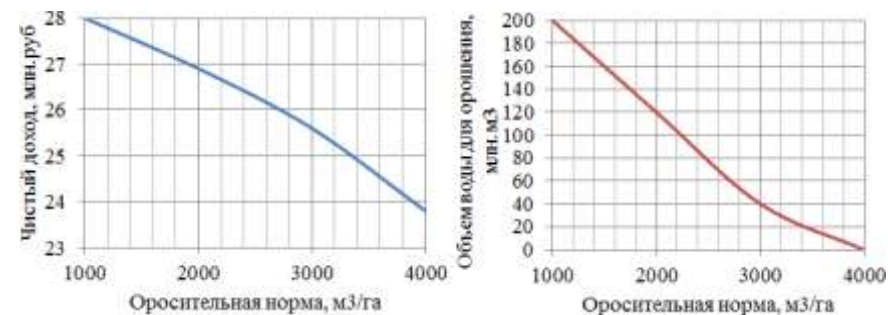
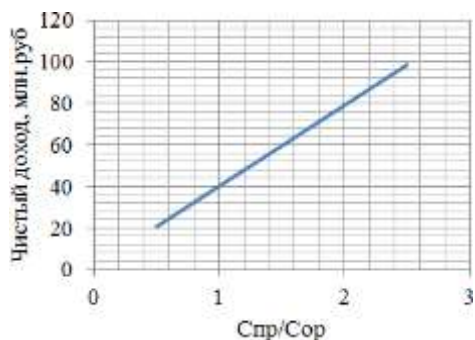


Рисунок 9.15 – Зависимости суммарного дохода ВХК и оптимального объема воды для промышленности от оросительной нормы

При выращивании мало влаголюбивых сельскохозяйственных культур (M=1000 м<sup>3</sup>/га), суммарный чистый доход от промышленности и орошения максимальный и составляет 28 млн.руб, при этом для орошения отдается наибольшее количество воды 200 млн.м<sup>3</sup>. Увеличение оросительной нормы (выращивание более влаголюбивых культур) приводит к снижению чистого дохода и оптимальных объемов воды для орошения. При M=4000 м<sup>3</sup>/га орошение становится экономически не эффективным и весь резерв воды отдается промышленности.

2. Изменение результатов оптимизации в зависимости от соотношения стоимости промышленной и сельскохозяйственной продукции (C<sub>пр</sub>/C<sub>ор</sub>).



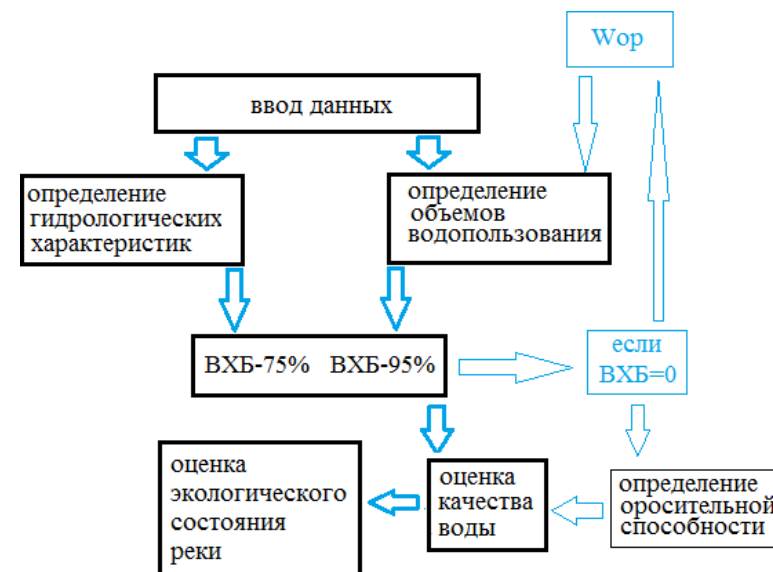
**Рисунок 9.16 - Изменение суммарного чистого дохода в зависимости от соотношения стоимости промышленной продукции (C<sub>пр</sub>) и сельскохозяйственной (C<sub>ор</sub>)**

Увеличение стоимости сельскохозяйственной продукции суммарный чистый доход ВХК линейно увеличивает, а оптимальное водораспределение остается постоянным. Такой результат связан с тем, что доход в основном определяется сельскохозяйственной продукцией и увеличение ее стоимости, по отношению к промышленности, не изменяет оптимальные объемы водораспределения.

## 9.2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчетно-графическая работа выполняется с целью отработки: навыков обоснования мероприятий по рациональному водопользованию и умений проведения имитационных расчетов для выбора наиболее эффективного водоохранного мероприятия.

В соответствии с техническим заданием проводится сбор исходных, определяется основная задача исследований проводятся обосновывающие расчеты. Работа выполняется с помощью программного продукта, которое в зависимости от успеваемости студентов может выдаваться студентам вместе с техническим заданием или программироваться ими самостоятельно по алгоритму (рис. 1).



**Рисунок 1 – Блок схема расчетов**

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ МАЛАЯ ЧАЛЫКЛА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

### ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования является река *Малая Чалыкла в Саратовской области*.

*Малая Чалыкла* левобережный приток реки *Большая Чалыкла*. Длина реки 75 км. Площадь водосборного бассейна 703 км<sup>2</sup>. Река относится к классу «*малых*» рек (табл. 1), что определяет возможности ее использования. Малые реки и ручьи используются, в основном, для целей орошения и рыбного прудового хозяйства. При этом требуется сезонное регулирование стока. В работе рассмотрено использование реки для целей орошения, т.е. использование воды для целей ирригационного водохозяйственного комплекса. Водохозяйственный комплекс (ВХК) – совокупность отраслей экономики использующих воду одного водного объекта.

Таблица 1 – Классификация естественных водотоков

Водоток	L, км	F <sub>бас</sub> , км <sup>2</sup>	Использование
Ручей	<10	<1000	Орошение, рыбное прудовое хозяйство, микро и малая гидроэнергетика
Малая река	10...100	1000-2000	
Средняя река	100...300	2000...50000	Все виды водопользования с ограничениями по объемам для целей водного транспорта и гидроэнергетики
Большая река	>300	>50000	Все виды водопользования

В состав ВХК входят водопотребители и водопользователи.

- Водопотребители - участники ВХК забирающие воду из водного объекта (*орошение*) и сбрасывающие загрязненные сточные воды (*сельскохозяйственное водоснабжение*);
- Водопользователи - участники ВХК, использующие воду в пределах водного объекта (охрана водных объектов).

Отрасли экономики и население прямо или косвенно изменяют условия формирования речного стока, снижая его объем (истощение) и ухудшая качество воды (загрязнение). Истощение – снижение водности ниже объемов экологического стока. Загрязнение - поступление в водный объект загрязняющих веществ, микроорганизмов или тепла (Загрязненность вод - содержание загрязняющих воду веществ, микроорганизмов и тепла, вызывающее нарушение требований к качеству воды) [ГОСТ 27065-86]. Приемлемый уровень соответствует качеству воды в естественных условиях, т.е. «умеренно загрязненному» классу качества воды. Качество воды – это характеристика состава и свойств воды определяющая ее пригодность для конкретного вида водопользования. Качество воды оценивается с помощью комплексного показателя предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ).

Таблица 2 – Классификация качества воды по показанию  $K_{пз}$

Класс	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
$K_{пз}$	<-0,8	-0,8...0	0...1	1...3	3...5	>5

Показатель предельной загрязненности ( $K_{пз}$ ) условно оценивает в виде безразмерного числа представляющем осредненную по загрязнителям кратность превышения нормативов качества воды. Позволяет проводить сравнения степени загрязненности воды в различных створах и пунктах наблюдения.

$$K_{пз} = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{ПДК_{г}} - 1,$$

где: n - количество показателей, используемых для определения  $K_{пз}$ ;  $C_i$  - фактическая концентрация показателей загрязняющего вещества.

$f_x = C8/(1-C9/100)$			
	A	B	C
1	ДАННЫЕ		
2			
3	Расшифровка показателя	Показатель	Значение Единица измерения
4	Длина реки	$L_{реки}$	75 км
5	Площадь бассейна	$F_{бас}$	703 км <sup>2</sup>
6	Плотность населения области	$\rho_{обл}$	44 чел/км <sup>2</sup>
7	Численность городского населения	$N_{город}$	98197 чел
8	Численность сельского населения	$N_{сел}$	30932 чел
9	Доля городского населения	$\mu_{город}$	68,5 %
10	Доля сельского населения	$\mu_{сел}$	31,5 %
11	Модуль стока	$g$	3 л/с*км <sup>2</sup>
12	Кэффициент вариации стока	$C_v$	0,3
13			
14	Желтым цветом выделены значения, вводимых данных		

Рисунок 2 – Интерфейс листа ввода данных

### 1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- гидрологические характеристики: норма стока ( $W_{\square}$ );
- кривая обеспеченности стока ( $W_{\square\%} = f(P\%)$ );
- внутригодовое распределение стока ( $W_{\square\tau\%} = f(\tau)$ );

Норма стока определяется в зависимости от модуля стока ( $g$ , л/с-км<sup>2</sup>) и площади водосбора ( $F_{бас}$ , км<sup>2</sup>). Модуль стока определяется по рисунку 3.

$$W_{\square} = \frac{g \cdot F_{бас} \cdot 31,54}{1000}, \text{ млн. м}^3$$



Рисунок 3 – Карта изолиний модуля стока рек, л/с-км<sup>2</sup>

Согласно карте изолиний модуля стока, модуль стока  $g=3$  л/с-км<sup>2</sup>

$$W_{\square} = \frac{3 \cdot 703 \cdot 31,536}{1000} = 67 \text{ млн. м}^3$$

Ординаты кривой обеспеченности определяются по формуле:

$$W_{\square\%} = K_{\square\%} \cdot W_{\square},$$

где:  $K_{p\%}$  модульный коэффициент для года заданной обеспеченности (определяется по коэффициенту вариации стока  $C_v$  и коэффициенту асимметрии стока  $C_s$ ).

Коэффициент вариации стока определяется по рисунку 4.



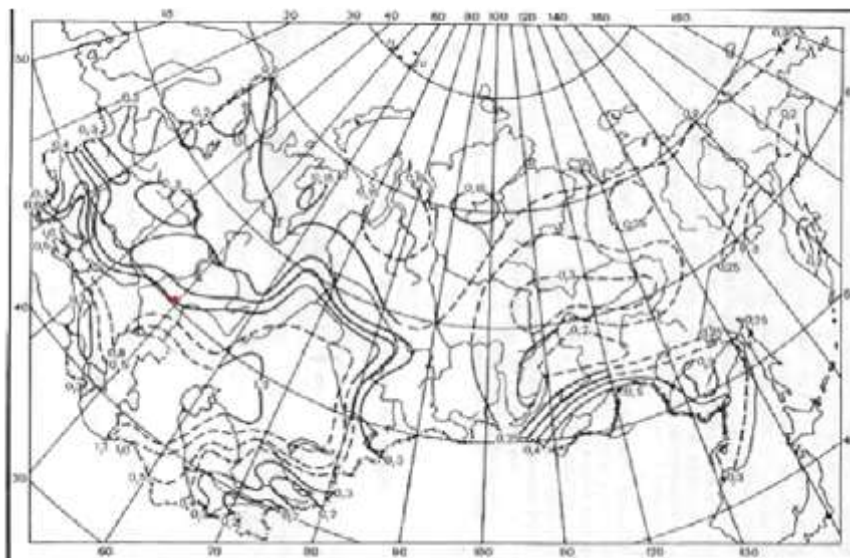


Рисунок 4 – Карта коэффициента вариации годового стока рек

Коэффициент вариации годового стока принимается равным:  $C_v=0,3$ .

$C_s=2C_v$

Таблица 3 – Координаты кривой обеспеченности стока р. Малая Чалыкла

$C_v=0,55$		
P, %	$K_p, \%$	$W_p, \text{млн.м}^3$
0,001	2,82	187,58
10	1,4	93,13
20	1,24	82,48
30	1,13	75,17
40	1,05	69,84
50	0,97	64,52
60	0,89	59,20
70	0,82	54,54
80	0,75	49,89
90	0,64	42,57
99	0,44	29,27

По данным таблицы 3 строится график кривой обеспеченности годового стока воды в реке (рис. 5). Кривая обеспеченности позволяет определить объем стока в годы заданной расчетной обеспеченности.

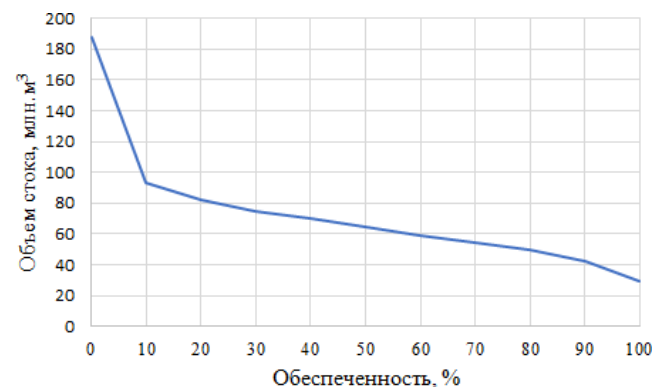


Рисунок 5 – Кривая обеспеченности стока реки Малая Чалыкла

Расчетные обеспеченности стока реки:

- основная  $P=75\%$   $W_{75\%}=52 \text{ млн.м}^3$
- проверочная  $P=95\%$   $W_{95\%}=36 \text{ млн.м}^3$

Внутригодовое распределение стока лет разной обеспеченности (табл. 4).

$$W_i^{\%} = K_i \cdot W^{\%}$$

где  $K_i$  – модульный коэффициент, определяющий долю стока в  $i$ -ый месяц.

Таблица 4 – Внутригодовое распределение стока для лет разной обеспеченности, ( $K_i, \%$ ;  $W_i, \text{млн.м}^3$ )

Показатель	Период времени												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>P=75%</b>													
$K_i, \%$	2,7	2,2	2,4	3,8	56,4	11	4,7	3,6	3,3	3	3,8	3,1	100
$\omega_i, \text{млн.м}^3$	1,4	1,1	1,3	2,0	29,5	5,7	2,5	1,9	1,7	1,6	2,0	1,6	52
<b>P=95%</b>													
$K_i, \%$	2,5	2	2,2	3,9	56,6	11,1	4,7	3,7	3,3	3	3,9	3,1	100
$\omega_i, \text{млн.м}^3$	0,9	0,7	0,8	1,4	20,3	4,0	1,7	1,3	1,2	1,1	1,4	1,1	36

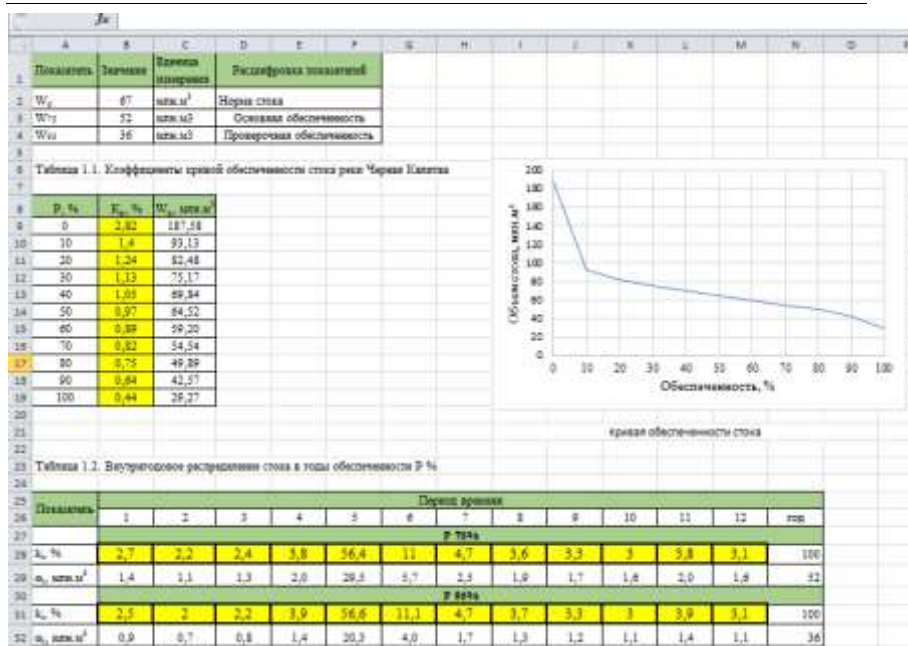


Рисунок 6 – Интерфейс листа расчета гидрологических данных

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Антропогенное воздействие связано с водозабором и сбросом загрязняющих веществ в водный объект. По характеру, воздействия делятся на:

- сосредоточенные (воздействие оказывается в конкретном створе), характерно для водозабора и сброса загрязненных канализованных стоков;
- диффузные (воздействие оказывается по некоторому фронту береговой линии), характерно для поступления не канализованных загрязненных стоков.

### 2.1 Объемы водопотребления и возвратных вод

Сосредоточенное воздействие (в масштабах бассейна реки) оказывают: КБХ городов, промышленность, с/х водоснабжение (включая сельское коммунально-бытовое хозяйство (СКБХ) и животноводство), осушение и прочие водопользователи. Характеризуется сосредоточенное воздействие объемом водопотребления (W), объемом возвратных вод (W<sub>вв</sub>) и объемом сброса загрязняющих веществ (W<sub>пз</sub> – показатель загрязненности сточных вод, выраженный в единицах объема воды).

Годовой объем водопотребления в КБХ определяется в зависимости от численности населения (N<sub>г</sub>, чел.), нормы водопотребления – количество воды приходящееся на одного человека в сутки (q<sub>г</sub>, л/сут·чел.), расчетного периода времени (τ=365 сут.) и коэффициента полезного действия системы водоснабжения (η<sub>г</sub>=0,95).

$$W_{\text{КБХ}} = \frac{N_{\text{г}} \cdot q_{\text{г}} \cdot 365}{10^6 \cdot \eta}, \text{ млн. м}^3$$

Годовой объем водопотребления промышленностью, с/х водоснабжением, орошением и прочими потребителями определяется как доля объема от водопотребления в КБХ по таблице 5.

Годовой объем водопотребления животноводством рассчитывается как часть объема сельскохозяйственного водоснабжения:

$$W_{\text{жив}} = W_{\text{с/х вод}} - W_{\text{СКБХ}}$$

Таблица 5. Структура водопотребления в Саратовской области

Забрано из подземных источников, А, %	Водопотребление участниками ВХК, %				
	КБХ	промышленность	орошение	с/х водоснабжение	прочее
34	16	63	6	10	3

Таблица 6. Объемы водопотребления и водоотведения

Потребители	W <sub>i</sub> , млн. м <sup>3</sup>	K <sub>ввi</sub>	W <sub>ввi</sub> , млн. м <sup>3</sup>
КБХ	7,5	0,7	5,3
Промышленность	29,7	0,8	23,8
С/х водоснабжение	4,7		2,4
– СКБХ	0,6	0,5	0,3
– животноводство	4,1	0,5	2,0
Орошение	2,8	0,1	0,3
Прочее	1,4	0,7	1,0
Сумма	46,2		32,7

### 2.2 Оценка загрязненности сточных вод

Для сосредоточенных и диффузных сбросов оценка их загрязненности (W<sub>пз</sub>) делается с учетом, соответственно, возвратных вод (W<sub>вв</sub>) и стоков образующихся после выпадения осадков и таяния снега (W<sub>ст</sub>). Загрязненность стоков определяется с помощью коэффициента предельной загрязненности (K<sub>пз</sub>).

С помощью K<sub>пз</sub> рассчитывается показатель W<sub>пз</sub>, который характеризует массу сбрасываемых загрязнений:

- сосредоточенные стоки  $W_{пз} = K_{пз} \cdot W_{вв}$ ;
- диффузные стоки  $W_{пз} = K_{пз} \cdot W_{ст}$

$$W_{ст} = \frac{W_{\square}^{\%}}{F_{бас}} \cdot 0,8 \cdot F_{диф}$$

где F<sub>диф</sub> – площадь богарных сельскохозяйственных угодий (пашни) или орошаемых земель.

Площадь орошаемых земель определяем по формуле:

$$F_{ор} = \frac{W_{ор} \cdot \eta_{ор} \cdot 10^{\square}}{M} = \frac{2,8 \cdot 0,85 \cdot 10^{\square}}{2500} = 960 \text{ га}$$

где M – оросительная норма, м<sup>3</sup>/га

Площадь богарных земель 40% (определяется из интернет источни-

ков).

$$W_{ст\text{ ор}} = \frac{36}{703} \cdot 0,8 \cdot \frac{960}{100} = 0,39 \text{ млн. м}^3$$

$$W_{ст\ б} = 36 \cdot 0,8 \cdot \frac{40}{100} = 11,52 \text{ млн. м}^3$$

Таблица 7 – Оценка загрязненности сточных вод

Источник	W <sub>ст</sub> , млн. м <sup>3</sup>	K <sub>пз</sub>	W <sub>пз</sub> , млн. м <sup>3</sup>
КБХ	5,28	10	53
Промышленность	23,77	30	713
СКБХ	0,31	5	2
Животноводство	2,04	20	41
Орошение (иригационный сток)	0,28	4	1
Прочее	0,99	10	10
Орошаемые земли (естественный сток)	0,39	9	4
Богарные земли	11,52	6	69
ИТОГО			892

### 3. ВОДОБАЛАНСОВЫЕ РАСЧЕТЫ

Водобалансовые расчеты основаны на составлении водохозяйственного баланса (ВХБ). ВХБ – это соотношение расчетного объема потребления воды из всех источников и расчетного объема отводимых сточных вод. ВХБ составляется в соответствии с «Методика составления водохозяйственных балансов водных объектов принятого приказом МПР РФ от 30 ноября 2007 г. № 314».

$$ВХБ = W_{\square} + W_{пз} + \Sigma W_{вв} - \Sigma W - W_{ущерб} - W_{экол}$$

где W<sub>пз</sub> – водозабор из подземных вод;

$$W_{пз} = A \cdot \Sigma W$$

A – доля воды, забираемой из подземных горизонтов (табл. 8);

W<sub>ущерб</sub> – ущерб речному стоку от водозабора подземных вод, гидравлически связанных с рекой;

$$W_{ущерб} = \alpha \cdot W_{пз}$$

α – коэффициент гидравлической связи (в работе принимается 0,3);

W<sub>экол</sub> – объём экологического стока. Определяется как доля естественного стока с помощью коэффициента (K<sup>эк%</sup>), который принимается для года обеспеченностью 75%  $K_{эк}^{\square\%} = 0,7$ , для года 95% -  $K_{эк}^{\square\%} = 0,9$ ;

$$W_{экол}^{\square\%} = K_{экол}^{\square\%} \cdot W_{р}^{\square\%}$$

Водобалансовые расчёты для года обеспеченностью P=75% представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Водохозяйственный баланс для года обеспеченностью Р=75%, в месячных интервалах времени, млн.м<sup>3</sup>

Составляющие баланса	Интервал времени												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Объем стока реки, $W_R$	1,41	1,15	1,25	1,98	29,45	5,74	2,45	1,88	1,72	1,57	1,98	1,62	52
Водозабора подземных вод, $W_{\text{пз}}$	1,23	1,23	1,23	1,33	1,37	1,42	1,47	1,37	1,33	1,28	1,23	1,23	15,71
Объем возвратных вод, $\Sigma W_{\text{вв}}$	2,70	2,70	2,70	2,73	2,74	2,76	2,77	2,74	2,73	2,71	2,70	2,70	32,68
<b>ИТОГО ПРИХОД</b>	<b>5,34</b>	<b>5,08</b>	<b>5,18</b>	<b>6,04</b>	<b>33,57</b>	<b>9,92</b>	<b>6,69</b>	<b>6,00</b>	<b>5,78</b>	<b>5,56</b>	<b>5,91</b>	<b>5,55</b>	<b>100,61</b>
Ущерб речному стоку $W_y$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,41
Водопоглощение, $\Sigma W_i$	3,62	3,62	3,62	3,90	4,04	4,18	4,32	4,04	3,90	3,76	3,62	3,62	46,22
в т.ч.: КБХ	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	7,55
Промышленность	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	29,71
С/х водоснабжение	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	4,72
Орошение	0,00	0,00	0,00	0,28	0,42	0,57	0,71	0,42	0,28	0,14	0,00	0,00	2,93
Прочее	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,41
Экологический попуск	0,99	0,80	0,88	1,39	20,62	4,02	1,72	1,32	1,21	1,10	1,39	1,13	36,55
<b>ИТОГО РАСХОД</b>	<b>4,72</b>	<b>4,54</b>	<b>4,61</b>	<b>5,41</b>	<b>24,77</b>	<b>8,32</b>	<b>6,16</b>	<b>5,47</b>	<b>5,22</b>	<b>4,97</b>	<b>5,12</b>	<b>4,87</b>	<b>84,18</b>
<b>МВХБ</b>	<b>0,62</b>	<b>0,54</b>	<b>0,57</b>	<b>0,63</b>	<b>8,79</b>	<b>1,60</b>	<b>0,54</b>	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>	<b>0,59</b>	<b>0,79</b>	<b>0,68</b>	<b>16,43</b>
Дефицит воды Д	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Резерв воды R	0,62	0,54	0,57	0,63	8,79	1,60	0,54	0,52	0,55	0,59	0,79	0,68	16,43
Фактический сток $W_{\text{фак}}$	1,61	1,34	1,45	2,02	29,41	5,62	2,25	1,84	1,76	1,68	2,18	1,81	52,98

Таблица 9 – Водохозяйственный баланс для года обеспеченностью Р=95%, в месячных интервалах времени, млн.м<sup>3</sup>

Составляющие баланса	Интервал времени												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Объем стока реки, $W_R$	0,90	0,72	0,79	1,40	20,33	3,99	1,69	1,33	1,19	1,08	1,40	1,11	36
Водозабора подземных вод, $W_{\text{пз}}$	0,72	0,72	0,72	0,78	0,81	0,84	0,86	0,81	0,78	0,75	0,72	0,72	9,24
Объем возвратных вод, $\Sigma W_{\text{вв}}$	2,70	2,70	2,70	2,73	2,74	2,76	2,77	2,74	2,73	2,71	2,70	2,70	32,68
<b>ИТОГО ПРИХОД</b>	<b>4,32</b>	<b>4,14</b>	<b>4,21</b>	<b>4,91</b>	<b>23,88</b>	<b>7,58</b>	<b>5,32</b>	<b>4,88</b>	<b>4,69</b>	<b>4,54</b>	<b>4,82</b>	<b>4,54</b>	<b>77,85</b>
Ущерб речному стоку $W_y$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,41
Водопоглощение, $\Sigma W_i$	3,62	3,62	3,62	3,90	4,04	4,18	4,32	4,04	3,90	3,76	3,62	3,62	46,22
в т.ч.: КБХ	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	7,55
Промышленность	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	29,71
С/х водоснабжение	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	4,72
Орошение	0,00	0,00	0,00	0,28	0,42	0,57	0,71	0,42	0,28	0,14	0,00	0,00	2,93
Прочее	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	1,41
Экологический попуск	0,81	0,65	0,71	1,26	18,30	3,59	1,52	1,20	1,07	0,97	1,26	1,00	32,33
<b>ИТОГО РАСХОД</b>	<b>4,54</b>	<b>4,38</b>	<b>4,44</b>	<b>5,28</b>	<b>22,46</b>	<b>7,89</b>	<b>5,96</b>	<b>5,35</b>	<b>5,08</b>	<b>4,84</b>	<b>4,99</b>	<b>4,74</b>	<b>79,96</b>
<b>МВХБ</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,37</b>	<b>1,43</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,64</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,20</b>	<b>-2,11</b>
Дефицит воды Д	-0,22	-0,24	-0,23	-0,37	0,00	-0,31	-0,64	-0,47	-0,39	-0,30	-0,17	-0,20	-3,54
Резерв воды R	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43
Фактический сток $W_{\text{фак}}$	0,59	0,41	0,48	0,89	19,72	3,28	0,88	0,72	0,68	0,67	1,09	0,80	30,21

**Выводы:**

- 1) В год 75% обеспеченности в целом за год и по месяцам дефицитов воды нет. Резерв воды составляет 7,19 млн.м<sup>3</sup>.
- 2) В год 95% обеспеченности в целом за год дефицита нет, но внутри года дефицит равен 0,25 млн. м<sup>3</sup>, что составляет 14% суммарного объема водопотребления, при допустимом дефиците 20%.

**4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ**

Разработка водоохранных мероприятий включает: прогноз качества воды с учетом планируемой на перспективу водохозяйственной деятельности; предложение водоохранных мероприятий и оценка их эффективности.

**4.1 Оценка качества воды в реке**

Оценка качества воды в реке делается на основе расчетов коэффициента предельной загрязненности речной воды ( $K_{кз}^{95\%}$ ) для года 95% обеспеченности стока реки.

$$K_{кз}^{95\%} = \frac{\sum W_{пзр} + \sum W_{вв}}{W_{фак}}$$

где  $W_{фак}$  – объем фактического стока реки (берется из таблицы водохозяйственного баланса для года 95% обеспеченности стока).

Качество воды в реке определяется в соответствии с классификационной таблицей 2.

Расчеты проводятся в табличной форме (табл. 10). Если без учета водоохранных мероприятий (ВОМ) качество воды не соответствует уровню естественного фона, применяются управляющие воздействия, направленные на улучшение качества воды.

Таблица 10 – Прогноз качества воды без учета и с учетом водоохранных мероприятий (ВОМ)

Составляющие	Без ВОМ	Водоохранные мероприятия						
		1	2	3	4	5	6	7
$W_{ф}$	32,33	32,33	32,33	32,33	32,33	32,33	32,33	32,33
$\sum W_{вв}$	32,68	32,68	32,68	8,91	8,91	8,91	8,91	8,91
Показатели загрязненности сточных вод								
КБХ	52,82	52,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Промышлен.	713,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
СКБХ	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	0,94
Животновод.	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	4,91	4,91	2,94
Орошение	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
Прочее	9,90	9,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Орош. земли	3,54	3,54	3,54	3,54	1,06	1,06	0,18	0,11
Богар. земли	68,97	68,97	68,97	68,97	20,69	20,69	3,45	2,07
$\sum W_{пз}$	891,88	178,82	116,09	116,09	65,34	29,36	11,23	7,19
$K_{кз}^{95\%}$ пз р	30,6	6,5	4,6	3,9	2,3	1,2	0,6	0,5
Класс качества	очень грязный		грязный		загрязненный		умеренно загрязненный	

**4.2 Водоохранные мероприятия****Очистка сточных вод**

Очистка сточных вод, это традиционное и обязательное мероприятие для сосредоточенных источников загрязнения. Данное мероприятие применяется для КБХ, промышленности и прочего водоснабжения (представлено мелкой промышленностью), что учитывается изменением показателей загрязненности сточных вод:

$$W_{пзр}^{кбх} = 0, \quad W_{пзр}^{пр} = 0 \quad \text{и} \quad W_{пзр}^{проч} = 0$$

где индексы 1,2,3 – обозначают номер водоохранного мероприятия.

**Обустройство водоохранной зоны**

Водоохранная зона (ВОЗ) устраивается вдоль всего водного объекта и элементов его гидрографической сети. ВОЗ предназначена для:

1. защиты водного объекта от загрязнений, поступающих от рассредоточенных источников;
2. защиты склонов первой надпойменной террасы от водной эрозии;
3. укрепления берегов;

4. выполнения функции биологического дренажа.

Экологическая эффективность ВОЗ зависит от периода года и изменяется по годам. В среднем она составляет  $\mathcal{E}_{\text{воз}} = 0.7$ .



Рисунок 7 Схема устройства водоохраной зоны

Обустройство ВОЗ учитывается через изменение параметров загрязненности сточных вод, поступающих с орошаемых, богарных земель:

$$W_{\text{пз}\mathcal{Q}}^{\text{бог}} = W_{\text{пз}\mathcal{Q}}^{\text{бог}} \cdot (1 - \mathcal{E}_{\text{воз}})$$

$$W_{\text{пз}\mathcal{Q}}^{\text{ор}} = W_{\text{пз}\mathcal{Q}}^{\text{ор}} \cdot (1 - \mathcal{E}_{\text{воз}})$$

**Устройство берегового биологического плато**

Сточные загрязненные воды с сельскохозяйственных земель (диффузный источник) поступают в реку и загрязняют ее. Для повышения самоочищающей способности воды в русле реки устраивается биологические плато вдоль береговой линии реки. Характерные параметры био-плато: уклон дна  $I=0.0$ , скорость течения воды  $V \leq V_{\text{заиления}}$ , ширина по дну в пределах био-плато  $b=3 \dots 10$  м, глубина воды  $h=0.3 \dots 1.5$  м. Таким образом, в пределах биологического плато создаются оптимальные условия для произрастания сообщества водной растительности, которая играет основную роль в самоочищении воды. Улучшение качества воды происходит за счет повышения эффективности:

1. осаждения взвешенных частиц ( $\mathcal{E}_{\text{взв}} = 0.95 \dots 0.99$ );

2. поглощения веществ растениями ( $\mathcal{E}_{\text{раст}} = 0.95$  – для биогенных веществ, металлов  $0,6 \dots 0,7$ , пестицидов  $0.2 \dots 0.4$ ).

Устройство био-плато учитывается изменением показателя загрязненности вод оросительной системы:  $W_{\text{пз}\mathcal{Q}}^{\text{ор}} = W_{\text{пз}\mathcal{Q}}^{\text{ор}} \cdot (1 - \mathcal{E}_{\text{бп}})$ . В среднем  $\mathcal{E}_{\text{бп}} = 0,4 \dots 0,7$ .

Особенностью био-плато является то, что оно работает и формируется по принципу природного биоценоза. Это позволяет устраивать его внутри естественных природных объектов, например: на отдельных участках рек, в том числе и устьях малых рек, у подножия оврагов.

**Введение водооборота в промышленности**

Оборотные системы позволяют осуществлять одноцелевое многократное использование одного и того же объема воды. Данные системы используются в отдельных технологических процессах промышленных предприятий. Эффективность данного метода заключается в уменьшении забора свежей воды ( $W_{\text{св}}$ ) из источника, и снижении опасности загрязнения водных объектов. Оборотные системы характеризуются коэффициентом водооборота ( $K_{\text{об}}$ ), который показывает долю используемых в обороте ( $W_{\text{об}}$ ) сточных вод от суммарного объема водопотребления ( $W$ ):

$$K_{\text{об}} = \frac{W_{\text{об}}}{W}; \quad W_{\text{об}} = 0 \dots (W - W_{\text{бп}})$$

где  $W_{\text{бп}}$  – объем безвозвратного водопотребления.

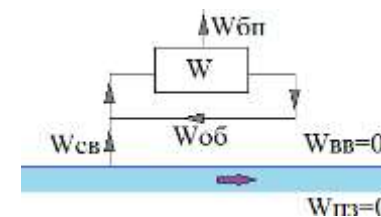


Рисунок 8 - Схема оборотной системы водоснабжения в промышленности

**Лесомелиоративные мероприятия (устройство лесополос)**

Водоохранные лесополосы позволяют перевести часть поверхностного стока, наиболее загрязненного, в подземный. Располагают полосы поперек склона и устраивают шириной от 5 до 25 м из древесно-кустарниковой растительности. Расстояние между лесополосами зависит от уклона местности, механического состава почво-грунтов, и составляет от 60...80 до 300...400 м. При необходимости повышения водоохранной эффективности лесополос, их усиливают устройством бессточных канав без разравнивания кавальера в низовой части ширины полосы, глубиной 0,5...1,5 м. Эффективность изменяется от  $\mathcal{E}_{лп}=20...40\%$ .

$$W_{пз\mathcal{B}}^{бог} = W_{пз\mathcal{B}}^{бог} \cdot (1 - \mathcal{E}_{лп}) \quad \text{и} \quad W_{пз\mathcal{B}}^{ор} = W_{пз\mathcal{B}}^{ор} \cdot (1 - \mathcal{E}_{лп}).$$

**Агротехнические (распашка поперек склона)**

Осенняя распашка поперек склона позволяет в весенний период (до обработки полей), замедлить движение воды, что способствует ее более полному впитыванию в почву. Эффективность изменяется, в зависимости от уклона местности и типа почв в пределах  $\mathcal{E}_{рпс}=40...70\%$ .

$$W_{пз\mathcal{B}}^{бог} = W_{пз\mathcal{B}}^{бог} \cdot (1 - \mathcal{E}_{рпс})$$

$$W_{пз\mathcal{B}}^{ор} = W_{пз\mathcal{B}}^{ор} \cdot (1 - \mathcal{E}_{рпс}).$$

**5. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ С УЧЕТОМ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Экологическое состояние водного объекта оценивается путем определения степени соответствия классу естественного фона качества воды. Для этого, используя полученное значение  $K_{пз\mathcal{B}}^{э\%}$  строятся кривые обеспеченности показателя  $K_{пз\mathcal{B}}$  без учета и с учетом ВОМ. Ординаты кривых рассчитываются по формуле:

$$K_{пз\mathcal{B}}^{р\%} = \frac{\mathcal{E} \cdot K_{пз\mathcal{B}}^{э\%} + (1 - \mathcal{E}) \cdot K_{пз\mathcal{B}}^{р\%}}{K_{пз\mathcal{B}}^{р\%}} - 1$$

где  $K_{пз\mathcal{B}}^{э\%}$ ,  $K_{пз\mathcal{B}}^{р\%}$  – соответственно, модульный коэффициент речного стока

для года 95% обеспеченности и заданной обеспеченности  $P\%$  (берется из таблицы приложения в зависимости от  $C_v$  и  $C_s$ ).

Таблица 11 Изменение качества воды без учета и с учетом водоохранных мероприятий (ВОМ) в зависимости от обеспеченности стока

P,%	Kp%	Без ВОМ	K <sub>пз р</sub> <sup>р%</sup>						
			ВОМ1	ВОМ2	ВОМ3	ВОМ4	ВОМ5	ВОМ6	ВОМ7
0,001	5,225	5,05	0,44	0,07	-0,07	-0,37	-0,58	-0,69	-0,71
10	1,735	11,19	1,91	1,16	0,88	0,27	-0,16	-0,37	-0,42
20	1,41	12,76	2,28	1,44	1,12	0,44	-0,05	-0,29	-0,35
30	1,2	14,10	2,60	1,68	1,33	0,58	0,04	-0,22	-0,28
40	1,035	15,25	2,88	1,88	1,50	0,70	0,12	-0,17	-0,23
50	0,905	16,59	3,20	2,12	1,71	0,84	0,22	-0,10	-0,17
60	0,775	18,17	3,58	2,40	1,95	1,00	0,33	-0,02	-0,09
70	0,655	19,81	3,97	2,69	2,20	1,17	0,44	0,07	-0,01
80	0,535	21,75	4,43	3,03	2,50	1,37	0,57	0,17	0,08
90	0,395	25,66	5,36	3,73	3,11	1,78	0,84	0,37	0,26
99	0,17	37,78	8,26	5,88	4,97	3,05	1,68	0,99	0,84

Используя данные таблицы 11 строятся кривые обеспеченности показателя  $K_{пз\mathcal{B}}^{р\%}$ .

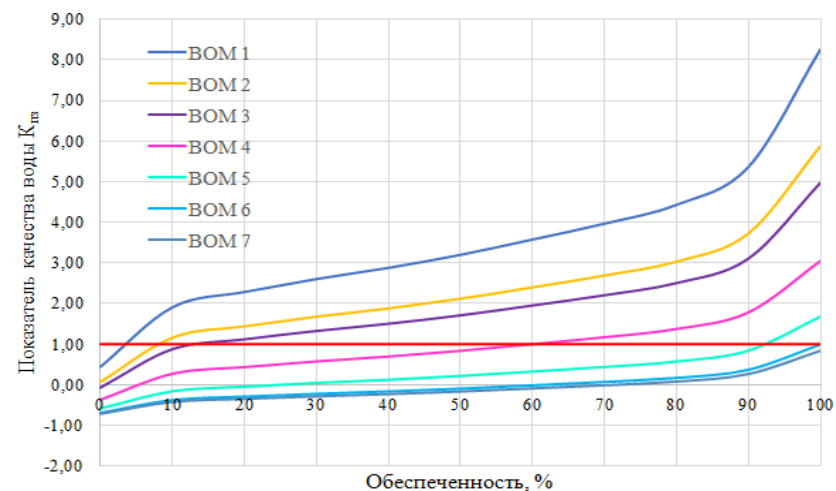


Рисунок 9 - Кривая обеспеченности показателя предельной загрязненности речной воды ( $K_{пз\mathcal{B}}^{р\%}$ )

Степень соответствия (сохранности) водной экосистемы ( $\Delta P$ ) (рис. 9) определяется по кривым обеспеченности показателя предельной загрязненности ( $K^{P\%}$  пз р), как вероятность соответствия показателя Кпз фон=1 классу качества воды в природных условиях.

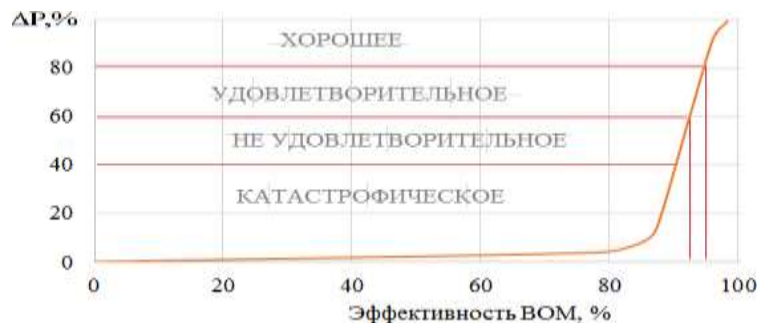


Рисунок 10 – Степень сохранности водной экосистемы в зависимости от эффективности ВОМ

Полученное значение степени сохранности  $\Delta P$  используются для оценки состояния системы в соответствии с классификационной таблицей 12.

Таблица 12 Классификация состояний экосистемы по показателю степени сохранности ( $\Delta P$ )

$\Delta P$ , %	<40	40...60	60...80	>80
Состояние	Катастрофическое	Не удовлетворительное	Удовлетворительное	Хорошее

Степень сохранности водной экосистемы соответствует состоянию ( $\Delta P_{\text{без вом}} \sim 0\%$  «катастрофическому»). «Удовлетворительное» состояние водной экосистемы достигается при эффективности не менее ВОМ 92%.



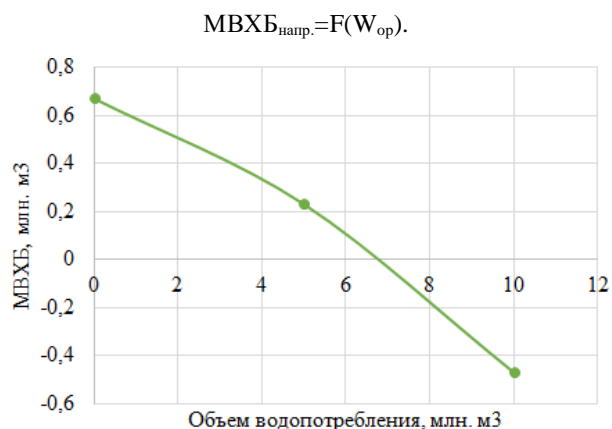
Рисунок 11 – Вид части листа интерфейса для оценки качества воды и экологического состояния водного объекта



## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ РЕКИ БЕЗ РЕГУЛИРОВАНИЯ И С РЕГУЛИРОВАНИЕМ СТОКА

### 6.1. Без регулирования стока

Допустимый водозабор для орошения без регулирования стока определяется по напряженному месяцу поливного периода в год 75% обеспеченности. Напряженный месяц выбирается по таблице ВХБ. Напряженный месяц – в котором значение водохозяйственного баланса за месяц минимально. Поливной период длится с 4 по 9 месяцы. Минимальное значение  $МВХБ_{напр}$ , равное 0,07 млн. м<sup>3</sup> отмечено в 9 месяце. Допустимое значение объема водопотребления за год ( $W_{ор,доп}$ ) определяется путем построения графика зависимости (рис. 12):



**Рисунок 12 – Зависимость величины водохозяйственного баланса в напряженный месяц поливного периода ( $МВХБ_{напр.}$ ) от водозабора на орошение ( $W_{ор}$ )**

Расчеты выполняются на листе «ВХБ». График строится путем задания на листе «Определение объемов водопотр» разных объемов водопотребления для орошения, например,  $W_{ор}= 0, 5, 10$ . Из ячейки O17 выписывается значение МВХБ для напряженного месяца ( $МВХБ_{напр}$ ). Расчеты продолжают пока  $МВХБ_{напр}$  перейдет через 0,0 млн.м<sup>3</sup>. Все результаты записываются в таблицу 13, по данным которой строится график (рис.12).

Таблица 13 – Определение ординат графика зависимости величины водохозяйственного баланса в напряженный месяц поливного периода ( $МВХБ_{напр}$ ) от водозабора на орошение ( $W_{ор}$ )

$W_{ор}$ , млн.м <sup>3</sup>	$МВХБ$ , млн.м <sup>3</sup>
0	0,67
5	0,23
10	-0,47

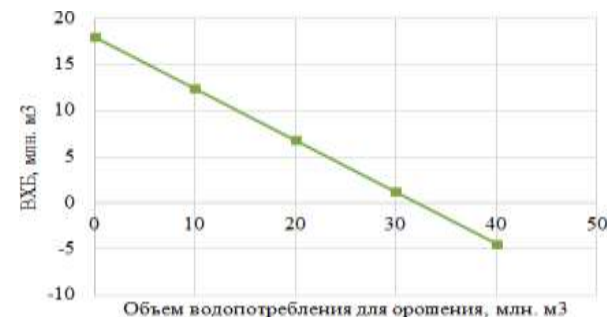
Допустимый объем водопотребления для орошения определяется при  $МВХБ_{напр}=0.0$  млн. м<sup>3</sup>, и равен  $W_{ор}= 6,8$  млн.м<sup>3</sup>. Оросительная способность ( $F_{ор}$ ) в данном случае определяется по формуле:

$$F_{ор} = \frac{W_{ор} \cdot \eta_{ор} \cdot 10^6}{M} = \frac{6,8 \cdot 0,85 \cdot 10^6}{2500} = 2,31 \text{ тыс. га}$$

Допустимый водозабор приводит к ухудшению качества воды на 5,5% ( $K_{пз}=11$ ).

### 6.2 Регулирование стока

Оросительная способность реки с учетом полного годовичного регулирования стока для целей орошения определяется на основе построения графика зависимости годового значения ВХБ от объема водозабора на орошение (рис.13). Допустимый объем воды для орошения определяется при  $ВХБ=0.0$  и составляет  $W_{ор}=32$  млн.м<sup>3</sup>.



**Рисунок 13 – Зависимость величины годового ВХБ от объема водопотребления для орошения ( $W_{ор}$ )**

Расчеты выполняются на листе «ВХБ». График строится путем задания на листе «Определение объемов водопотр» разных объемов водопотребления для орошения, например,  $W_{ор} = 0, 10, 20, 30, 40$ . Из ячейки N17 выписывается значение годового ВХБ для напряженного месяца ( $MVXB_{напр}$ ). Расчеты продолжаются пока  $MVXB_{напр}$  перейдет через 0,0 млн.м<sup>3</sup>. Все результаты записываются в таблицу 14, по данным которой строится график (рис.13).

Таблица 14 Определение ординат графика зависимость величины годового водохозяйственного баланса ( $MVXB_{напр}$ ) от водозабора на орошение ( $W_{ор}$ )

$W_{ор}$ , млн.м <sup>3</sup>	ВХБ, млн.м <sup>3</sup>
0	18,01
10	12,41
20	6,81
30	1,21
40	-4,39

Оросительная способность водоисточника, с учетом полного годовичного регулирования стока, составит:

$$F_{ор\text{ пгр}} = 10,88 \text{ тыс.га}$$

Водозабор для орошения приводит к ухудшению качества вода  $K_{пз\text{ пгр}} = 99,6$ . Учитывая, что без дополнительного водозабора на орошение качество воды определялось величиной  $K_{пз}=30,6$ , качество воды ухудшается на 225%.



Рисунок 14 – Вид части листа «Определение объемов водопотр» и листа «ВХБ» интерфейса для оценки свободного ресурса воды для орошения

### Выводы

1. Свободный ресурс воды для орошения без регулирования стока составляет 6,8 млн.м<sup>3</sup>. При этом оросительная способность равна 2,31 тыс.га. Качество воды ухудшается на 11%.
2. С учетом полного годовичного регулирования стока, для орошения можно использовать – 32 млн м<sup>3</sup>. Оросительная способность равна 10,88 тыс.га. Полезный объем водохранилища  $V_{плз} = 7,66$  млн.м<sup>3</sup>.

### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПЛОЩАДИ С/Х ЗЕМЕЛЬ

Допустимая площадь с/х земель определяется по условию загрязнения речной воды, для вариантов: без водоохраных мероприятий и с учетом эффективности водоохранной зоны и лесополос. Расчеты выполняются на листе «Качество». Для этого на листе «Данные» задаются значения площади богарных земель в ячейке C20 от 0 до 80%. На листе «Качество» из ячейки C37 выписывается значение показателя  $K_{пз}$  без ВОМ. Из ячейки G37 выписывается значение  $K_{пз}$  с учетом эффективности водоохранной зоны (при этом учитываются: очистка сточных вод КБХ, промышленности и прочего водопользования). Составляется таблица 15, по которой строится график (рис.15).

Таблица 15 Изменение показателя  $K_{пз}$  речной воды в зависимости от площади богарных земель

Площадь богары, %	$K_{пз}$ без BOM	$K_{пз}$ с BOM
0	28,3	1,7
20	29,5	2
40	30,6	2,3
60	31,7	2,6
80	32,9	2,9

Расчеты показывают, что без проведения водоохранных мероприятий на сельскохозяйственных землях качество речной воды не соответствует целевому уровню ( $K_{пз}=1$ ). Увеличение площади сельскохозяйственных земель на каждые 20% качество воды ухудшается на 1,2%, что говорит о незначительном вкладе сельского хозяйства в загрязнение реки.

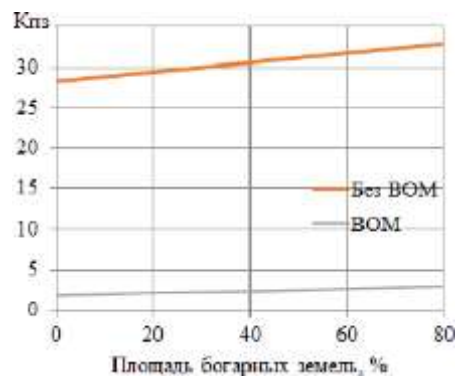


Рисунок 15 - Изменение показателя  $K_{пз}$  речной воды в зависимости от площади богарных земель без учета и с учетом водоохранных мероприятий

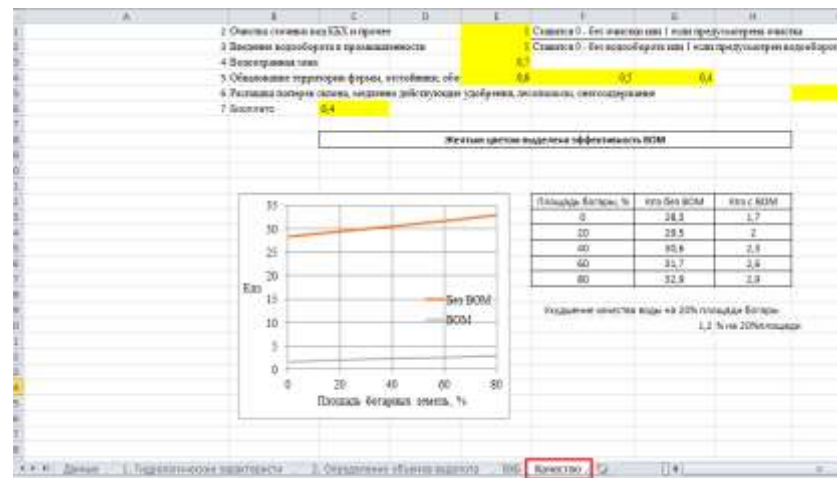


Рисунок 16 - Вид листа «Качество» с таблицей и графиком оценки изменения качества воды в реке в зависимости от площади богарных земель

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Беглярова Э.С., Дмитриева А.В., Соколова С.А.** Водные объекты на особо охраняемой природной территории бассейна реки Серебрянка // Природообустройство. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2017. № 4. – С. 20-26.
2. **Беглярова Э.С., Матвеева Т.И., Соколова С.А.** Аспекты экологической реабилитации природных комплексов малых рек на примере реки Чермянки Московского мегаполиса. // Природообустройство. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2019. № 3. – С. 98-103.
3. **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. – М.: Научно-техническая фирма "Энергопрогресс". 2020. № 11. – С. 48-52.
4. **Вершинская М.Е., Шабанов В.В., Маркин В.Н.** Эколого-водохозяйственная оценка водных систем: монография. – М.: РГАУ-МСХА, 2016. – 144 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/4079.pdf>
5. Вода или нефть?: монография / Под ред. Д.В. Козлова. – М.: МППА БИМПА, 2008. – 456 с.
6. Водный Кодекс Российской Федерации: утвержден ГД РФ от 03.06.2006 №74-ФЗ. (с изменениями на 31 октября 2016 г.).
7. Водохозяйственные системы и водопользование: учебник / Л.Д. Раткович, В.Н. Маркин, И.В. Глазунова И.В., С.А. Соколова, А.М. Бакштанин и др. – М.: ИНФА-М, 2019. – 452 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=380047> 22.
8. **Глазунова И.В., Воронина К.П., Барсукова М.В.** Исследование эффективности водоохраных мероприятий в условиях интенсивной ан-

- тропогенной нагрузки на реку Язу//Природообустройство. - М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2018. № 3. С. 40-46.
9. **Глазунова И.В., Соколова С.А., Матвеева Т.И., Маркин В.Н., Бакштанин А.М.** Оценка изменения концентраций загрязняющих веществ по длине реки: учебное пособие. – М.: ООО «Мегаполис». 2020. – 87 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46548220>
10. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
11. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения.
12. ГОСТ Р 58556-2019. Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций.
13. **Кирейчева Л.В., Глазунова И.В.** Методика расчета прудов-накопителей дренажного стока для локальных участков орошения// Природообустройство. - М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2012. № 5. С. 30-34.
14. **Кирейчева Л.В., Глазунова И.В.** Развитие и размещение сельскохозяйственных мелиораций в изменяющихся климатических условиях// Природообустройство. - - М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2017. № 4. С. 80-87.
15. **Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Обоснование водохозяйственных мероприятий в бассейне реки: учебное пособие. – М.: МГУП, 2014. – 77 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/local/pr520.pdf>
16. **Маркин В.Н., Раткович Л.Д., Соколова С.А.** Обоснование и разработка водохозяйственных и водоохраных мероприятий в речном бассейне: учебное пособие. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 98 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/3169.pdf>

17. Методика составления водохозяйственных балансов водных объектов принятого приказом МПР РФ от 30 ноября 2007 г. № 314.
18. **Раткович Л.Д., Глазунова И.В., Соколова С.А., Маркин В.Н.** Водохозяйственная система с территориально-временным регулированием стока: учебное пособие /– М.: РГАУ-МСХА. 2020. – 70 с.
19. **Раткович Л.Д., Маркин В.Н., Глазунова И.В.** Вопросы рационального использования водных ресурсов и проектного обоснования водохозяйственных систем. – М.: МГУП, 2013. – 258 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.timacad.ru/dl/local/pr06.pdf>
20. **Раткович Л.Д., Маркин В.Н., Глазунова И.В., Соколова С.А.** Факторы влияния диффузного загрязнения на водные объекты. // Природообустройство. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 2016. № 3. – С. 64-75.
21. **Соколова С.А.** Проблемы водоснабжения и перспективы использования подземных вод в Люберецком районе Московской области // Природообустройство. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП. 2013. № 5. – С. 50-54.
22. Управление водохозяйственными системами: учебное пособие / В.Н. Маркин, Л.Д. Раткович, И.В. Глазунова и др. – М.: РГАУ-МСХА, 2015. – 172 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44228034>
23. Федеральный закон "Об охране окружающей среды": утвержден ГД РФ № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. с изменениями, внесенными федеральным законом № 45-ФЗ от 09.05.2005.

*Учебное издание*

Глазунова Ирина Викторовна  
Маркин Вячеслав Николаевич  
Соколова Светлана Анатольевна  
Раткович Лев Данилович

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Учебное пособие



Компьютерная верстка и макет *Горохов А.А.*

Подписано в печать 25.05.2022. Формат 60×84 1/16. Бумага офисная.  
Усл. печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 7,3. Тираж 500 экз. Заказ 1540

Отпечатано в типографии  
Закрытое акционерное общество "Университетская книга"  
305018, г. Курск, ул. Монтажников, д.12  
ИНН 4632047762 ОГРН 1044637037829 дата регистрации 23.11.2004 г.  
Телефон +7-910-730-82-83 [www.nauka46.ru](http://www.nauka46.ru)